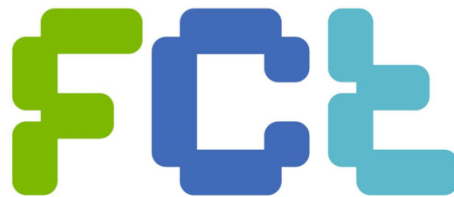


Estudo, avaliação e optimização em Radioterapia - IMRT

Siemens S.A. – Healthcare Sector

2009 / 2010

Catarina da Silva Barros



**FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Departamento de Física

Estudo, avaliação e optimização em Radioterapia IMRT

Siemens S.A. – Healthcare Sector

2009 / 2010

21 947 Catarina da Silva Barros



**FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Departamento de Física

2 de Novembro 2010

Orientador na FCT/UNL: Doutora Adelaide de Jesus

Supervisor na Siemens: Engenheiro Filipe Janela

A presente dissertação contém informação estritamente confidencial, pelo que, não pode ser copiada, transmitida ou divulgada, na sua parte ou na totalidade, sem o expresso consentimento por escrito do autor e da Siemens Sector Healthcare.

Aos meus pais, mana e André,

Agradecimentos

O presente projecto foi desenvolvido na Siemens *Healthcare*, no Porto. Para mim foi um desafio e um enorme privilégio poder desenvolver este projecto em ambiente empresarial. Neste contexto agradeço ao Eng. Filipe Janela por ter acreditado nas minhas capacidades, bem como, pela disponibilidade, compreensão e empenho que demonstrou na orientação deste trabalho.

Agradeço à Doutora Adelaide de Jesus, que apesar de todos os projectos em que se encontra envolvida, aceitou orientar o meu projecto, demonstrando sempre uma total entrega.

À Dra. Celina Lourenço devo-lhe um particular agradecimento, por acompanhamento personalizado e proximidade. Durante estes oito meses inesquecíveis, demonstrou ser uma profissional inexcelente.

Ao amigo João Gomes que me acolheu e integrou numa realidade tão própria como é o meio empresarial. Serás sempre um exemplo, como pessoa e profissional.

Gostaria de endereçar um agradecimento especial à Dra. Paula Alves e à Dra. Maria do Carmo Lopes, por me terem dado a oportunidade de realizar este projecto com a parceria do Departamento de Radioterapia e de Física Médica, do IPO de Coimbra. Este reconhecimento é extensível a toda a equipa de médicos, físicos e técnicos, que se demonstraram incansáveis ao longo de todo este projecto. Obrigado a todos. Sem o vosso contributo este projecto nunca se teria concretizado.

Ao grupo de Investigação e Desenvolvimento do Sector *Healthcare* Filipe Soares, Inês Sousa, e Liliana Caldeira, obrigado pelos conselhos e incentivos prestados durante o decurso deste projecto.

Agradeço aos meus colegas de estágio curricular que tive o privilégio de partilhar muitas horas de trabalho e lazer. À Patrícia Silva e ao João Miranda, reconheço ao vosso companheirismo e amizade sincera. Obrigado por todo o apoio incondicional, mesmo que separados por meio Portugal. Bonifácio Meixedo foi um privilégio conhecer-te. Obrigado pelo teu companheirismo e conselhos adquiridos na tua experiência. Obrigado Rui Barros pelo apoio, investidas motivacionais, que em muito contribuíram para a realização deste trabalho. Agora mais do que um colega, um amigo. Ao Rui Lavrador, agradeço a amizade, mas principalmente, a sua alegria. Obrigado por todos os momentos divertidos que proporcionaste. Apesar do pouco tempo que nos conhecemos, ao Sérgio Dias agradeço a força e ajuda que me tem dado, nestas últimas semanas.

Um agradecimento autêntico ao Pedro Barata pelo acompanhamento, ao longo do meu percurso académico e pelo apoio prestado nesta nova etapa. Obrigado.

A todos os professores que fizeram parte da minha vida académica, em especial ao professor Mário Secca pela dedicação ao curso que agora termino. Obrigado.

Aos meus pais e irmã, que me apoiaram incondicionadamente durante todo o meu percurso académico. Sem vocês nunca teria sido possível chegar até aqui. Vocês são a minha inspiração.

Por último, queria entregar um reconhecimento muito especial ao André pelo seu total apoio durante esta jornada e amor incondicional. Apesar dos desafios que enfrentámos, estives-te sempre a meu lado, incentivaste-me, motivaste-me e criticas-te. Obrigado por seres quem és.

Resumo

O cancro continua ser um problema de saúde pública, apesar dos esforços e desenvolvimentos verificados na luta contra o mesmo. Estima-se que em 2030 a incidência do cancro na população mundial duplique, sendo o envelhecimento da população a principal causa apontada pela Organização Mundial de Saúde (WHO, do inglês *World Health Organization*).

Desta forma, os avanços tecnológicos na saúde têm sido constantes, trazendo desenvolvimentos essenciais no diagnóstico e tratamento das mais variadas patologias. No que concerne à radioterapia, especialidade terapêutica utilizada em cerca de 50% a 60% dos doentes oncológicos, o seu estado acompanha os panoramas mais vanguardistas.

A radioterapia de intensidade modelada (IMRT, do inglês *Intensity-Modulated Radiation Therapy*), resultante da evolução da técnica de radioterapia conformacional tridimensional (3D-CRT, do inglês *Three-Dimensional Conformal Radiotherapy*), veio acrescentar à conformação geométrica do feixe de radiação, a capacidade de utilização da modulação da intensidade do mesmo. Desta forma a IMRT permite uma conformação dosimétrica, que salvaguarda ao máximo a integridade das estruturas adjacentes, bem como, o escalonamento de dose, mais eficaz do ponto de vista de controlo tumoral. No entanto, este ganho em saúde faz-se acompanhar, muitas vezes, do aumento de custos. Neste contexto é essencial avaliar e quantificar os custos, e as respectivas consequências/benefícios clínicos inerentes à utilização da tecnologia.

Com este projecto, realizado em contexto empresarial, pretendeu-se estudar, avaliar e elaborar propostas de optimização que visem a implementação clínica da IMRT, aplicada a patologias da próstata e mama, num Serviço de Radioterapia de um Prestador de Cuidados de Saúde (PCS) público. Neste prestador, foram analisados todos os procedimentos do *workflow* de 3D-CRT das patologias da cabeça e pescoço (C&P), mama e da próstata, incluindo a caracterização a nível dos recursos humanos (RH) com a respectiva duração característica de cada tarefa mapeada, quer dos recursos tecnológicos envolvidos. Visto este PCS já ter iniciado a aplicação clínica de IMRT ao cancro de C&P, foram também analisados os procedimentos referentes a esta patologia, de forma a servirem de base para a realização dos modelos de IMRT para a mama e próstata, tal como, para comparar os custos inerentes à realização desta técnica, em relação à técnica conformacional. Por último projectou-se cenários da realização IMRT ao invés da 3D-CRT no PCS em estudo, para a neoplasia que economicamente se mostrou mais favorável.

Os resultados obtidos com o presente projecto permitiram concluir que em ambas as neoplasias em estudo, os RH com maior afectação no fluxo de trabalho da IMRT são o físico médico e o técnico de radioterapia. Desta forma, a exigência da técnica conduz, inevitavelmente, a um aumento dos custos associados aos RH. No entanto, a longo prazo este aumento é atenuado com a diminuição dos custos associados a efeitos secundários da terapia. Ao projectar o cenário ideal relativo à implementação da IMRT à neoplasia da mama, no parceiro clínico, verificou-se que o mesmo implica um incremento dos custos anuais devido ao aumento do tempo do físico e ao técnico de radioterapia. Relativamente, aos cenários que são possíveis realizar com os RH actualmente disponíveis no serviço, verifica-se que existe um compromisso entre o número de tratamentos de IMRT e o volume assistencial (número de tratamentos que é possível realizar num ano) do mesmo.

Palavras Chave (Tema): Cancro da Mama; Cancro da Próstata; *Workflow* Radioterapia; Custos em Saúde.

Palavras Chave (Tecnologias): Radioterapia de Intensidade Modelada; *step-and-shoot*; Radioterapia Conformacional Tridimensional.

Abstract

Cancer still remains a public health concern, despite all the efforts and developments that have been made against it. According to the World Health Organization (WHO), cancer incidence is expected to duplicate by the year 2030, mainly due to population ageing.

Thus, technological advances in healthcare have been constant, bringing crucial developments in the diagnosis and therapeutics of several pathologies. In relation to radiotherapy, a therapeutic specialty used in 50% to 60% of the oncological patients, its developments follow the most advanced specialties.

Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT), an evolutionary result of Three-Dimensional Conformational Radiotherapy (3D-CRT), added the power to modulate the beam's intensity to the radiation beam's geometric conformation. As a result, IMRT allows both dosimetric conformation, which keeps the integrity of the structures in the vicinity, and dose escalation, which is more effective on tumor control. However, this improvement may cause an increase in associated costs. In this context, it is important to evaluate and quantify those costs, as well as the consequences/benefits related to IMRT's use.

The aim of this project, performed in a business context, was to study, evaluate and create optimization proposals concerning IMRT's clinical implementation, aimed at prostate and breast pathologies, in a public Healthcare Provider's Radiotherapy Service. The following aspects were analyzed at the referred facilities: 3D-CRT *workflow* procedures for the head, neck, breast and prostate pathologies, including a characterization of the technological and human resources. The duration of each task was measured. Considering that this Service has already begun using IMRT on head and neck cancer, the procedures for those two pathologies were analyzed, so that they could be used as a reference for IMRT's models to breast and prostate, as well as a means to compare IMRT to conformational techniques in terms of costs.

The results obtained from this project showed that, in both pathologies under study, the human resources with greater allocation to IMRT's workflow are the physicist and radiotherapy technologist. Thus, the requirements of this technique will inevitably lead to an increase in the costs associated with human resources. However, the long term increase in cost is mitigated by the lower costs associated with a reduction of side effects as a result of this therapy. When designing the ideal setting for the implementation of IMRT for breast cancer in the clinical partner, it was found that it

implies an annual cost increase, due to the greater allocation of the physicist and radiotherapy technologist. Considering the scenarios that are possible to accomplish with the human resources service currently available, it appears that there is a compromise between the number of IMRT treatments and the volume of assistance (number of treatments per year) the service is able to accomplish.

Keywords (Theme): Breast cancer; prostate cancer; Radiotherapy Workflow; Healthcare costs.

Keywords (Technology): *Intensity-modulated radiotherapy; step-and-shoot; 3D conformal radiotherapy.*

Índice

Agradecimentos.....	vii
Resumo.....	ix
<i>Abstract</i>	xi
Índice.....	xiii
Índice de Figuras.....	xvii
Índice de Tabelas	xxi
Acrónimos e Siglas.....	1
1 Introdução	4
1.1 Enquadramento	4
1.2 Apresentação do projecto.....	8
1.3 Contribuições do trabalho.....	9
1.4 Apresentação da Empresa	10
1.4.1 Marcos Recentes em Portugal	11
1.5 Organização da Dissertação.....	12
2 Radioterapia Externa.....	15
2.1 Conceitos básicos utilizados em Radioterapia	15
2.1.1 Tipos de Radioterapia.....	15
2.1.2 Objectivo clínico da Radioterapia.....	16
2.1.3 Definição de Volumes em Radioterapia.....	16
2.2 Radioterapia conformacional.....	17
2.3 Radioterapia de Intensidade Modelada	18
2.3.1 Planeamento Inverso	19
2.3.2 Aplicações clínicas do IMRT	20
2.3.3 Ferramentas de tratamento em IMRT	21
2.3.4 Vantagens vs. Desvantagens da IMRT	28
3 Workflow de Radioterapia	31
3.1 Procedimentos operativos técnicos e clínicos	31
3.1.1 Avaliação Clínica.....	32

3.1.2	Imobilização	33
3.1.3	Aquisição de Imagens	34
3.1.4	Delineamento de volumes	35
3.1.5	Dosimetria Clínica.....	35
3.1.6	Simulação	36
3.1.7	Verificação do tratamento.....	36
3.1.8	Tratamento diário.....	37
3.1.9	<i>Follow up</i>	39
3.2	Programa de controlo da qualidade	39
3.3	Recursos Humanos intervenientes no <i>workflow</i> RT	40
3.3.1	Requisitos mínimos de pessoal para um serviço de Radioterapia	41
3.4	Duração dos principais procedimentos técnicos e clínicos.....	43
3.5	Custos na Radioterapia	48
3.6	IMRT no tratamento do carcinoma da próstata	50
3.6.1	<i>Follow up</i>	53
3.6.2	Toxicidade.....	54
3.7	IMRT no tratamento do carcinoma da mama	58
4	Caso de Estudo: Serviço de Radioterapia de um PCS Público	63
4.1	Apresentação do Serviço de Radioterapia	64
4.2	Metodologia.....	65
4.2.1	Etapa A – Estudo e análise dos <i>workflows</i> do parceiro clínico.....	65
4.2.2	Etapa B- Definição dos modelos de <i>workflow</i> de IMRT para o carcinoma da próstata e da mama.....	68
4.2.3	Etapa C - Comparação do <i>workflow</i> de 3D-CRT do parceiro clínico com o modelo de <i>workflow</i> de IMRT para cada patologia.	69
4.2.4	Etapa D – Projecção de cenários na utilização da técnica de IMRT.....	70
5	Resultados e Discussão	71
5.1	Etapa A – Estudo e análise dos <i>workflows</i> do parceiro clínico	72
5.1.1	Etapa Planeamento.....	73
5.1.2	Etapa Tratamento	75
5.2	Etapa B- Definição dos modelos de <i>workflow</i> de IMRT.....	77

5.2.1	Etapa de Planeamento	77
5.2.2	Etapa de Tratamento	80
5.3	Etapa C - Comparação do <i>workflow</i> de 3D-CRT do parceiro clínico com o modelo de <i>workflow</i> de IMRT para cada patologia.	82
5.3.1	3D-CRT vs. IMRT na neoplasia de C&P	82
5.3.2	3D-CRT vs. IMRT na patologia de Próstata	84
5.3.3	3D-CRT vs. IMRT na patologia da Mama	86
5.4	Etapa D – Projecção de cenários na utilização da técnica de IMRT à neoplasia da mama 89	
5.4.1	Cenário actual do parceiro clínico.....	89
5.4.2	Cenário ideal no parceiro clínico.....	90
5.4.3	Cenário de IMRT sem alteração dos RH existentes.....	93
6	Conclusões	97
6.1	Objectivos realizados	99
6.2	Outros trabalhos realizados	99
6.3	Limitações e recomendações para o trabalho futuro	99
6.4	Apreciação final	100
	Bibliografia	103
Anexo 1	Software de planeamento inverso	111
Anexo 2	Funções e Responsabilidades dos Recursos Humanos intervenientes no processo de EBRT	113
Anexo 3	Classificação TNM para o estadiamento do cancro da próstata	117
Anexo 4	Classificação TNM para o estadiamento do cancro da mama	119
Anexo 5	Critérios comuns de toxicidade da <i>National Cancer Institute (NCI)</i> versão 2.0 121	
Anexo 6	Terapêutica considerada no tratamento da toxicidade aguda e tardia no carcinoma da mama no Modelo Económico	123
Anexo 7	Workflows do parceiro clínico – <i>workflow</i> 3D-CRT C&P, <i>workflow</i> 3D-CRT próstata, <i>workflow</i> 3D-CRT mama e <i>workflow</i> IMRT C&P.	125
Anexo 8	Conjunto de actividade(s) agrupada(s) em procedimentos, para o <i>workflow</i> de 3D-CRT e IMRT	131

Anexo 9	Modelos de <i>workflow</i> de IMRT – <i>workflow</i> próstata e <i>workflow</i> mama.
	133

Anexo 10	Modelo Económico – Estimativa de custos inerentes à realização de IMRT ao invés de 3D-CRT no Serviço de Radioterapia em estudo.....
	137

Índice de Figuras

Figura 1.1 Estimativa da incidência de cancro em Portugal, por sexo, no ano de 2008. Adaptado de [1]	5
Figura 1.2 Estimativa da incidência de novos casos de cancro da mama e da próstata, respectivamente, devido ao efeito demográfico para 2030. Adaptado de [1].....	6
Figura 1.3 Esquema representativo da evolução da conformação da dose nos diferentes tipos de radioterapia externa. Adaptado de [4].....	6
Figura 1.4 Diagrama Custo-Efectividade. Adaptado de [7].....	7
Figura 2.1. Ilustração dos volumes e margens relativas à definição do volume-alvo.[14]	17
Figura 2.2. Modelo de planeamento directo. Adaptado de [16]	18
Figura 2.3 Esquema ilustrativo da modulação da intensidade do feixe recorrendo: (a) Cunhas (modulação a 1 dimensão); (b) Blocos; (c) Compensadores (modulação a 2 dimensão). [19].....	18
Figura 2.4 Modelo de Planeamento Inverso. Adaptado de [16].....	20
Figura 2.5 Esquema ilustrativo da distribuições de dose no tratamento de um PTV de forma côncava, utilizando 5 feixes. [19].....	21
Figura 2.6 Comparação dosimétrica (a) tratamento convencional 2D (3 feixes); (b) tratamento convencional 3D (6 feixes); e (c) tratamento IMRT (7 feixes). [23]	21
Figura 2.7 (a) Acelerador Linear (Siemens ONCOR™ Avant-Garde, Concord, USA); (b) Sistema de MLC de 160 folhas (Siemens ARTISTE™, Concord, USA).....	22
Figura 2.8 Ilustração de um MLC a moldar um PTV. [24].....	22
Figura 2.9 Esquema representativo do perfil de dose obtido por uma sequência de SMLC. Adaptado de [27].....	24
Figura 2.10 (a) Distribuição de intensidades desejado, produzido pelo planeamento inverso; (b) Distribuição de intensidades depois de convertido em níveis discretos de intensidade. [26]	24
Figura 2.11 Tomoterapia: (a) Tomoterapia sequencial (Peacock MIMiC, NOMOS Corporation)[21]; (b) Sistema MIMic [32]; (c) Tomoterapia helicoidal (Hi-Art, Tomotherapy Inc.)[33]; (d) MLC binário da tomoterapia helicoidal [33].	27

Figura 3.1 Esquema das principais etapas de um tratamento de radioterapia externa.	32
Figura 3.2. Exemplos de acessórios de imobilização: (a) Suporte de cabeça e pescoço; (b) Elevador poplíteo; (c) Belly Board, suporte para abdómen; (d) Suporte com elevação de braços. [38]	33
Figura 3.3 Exemplos de sistemas de imobilização complexa: (a) Máscara termoplástica; [28] (b) suporte pélvico termoplástico.	34
Figura 3.4 CT de planeamento de um doente com carcinoma da próstata, com o respectivo contorno das estruturas críticas (bexiga e recto) e dos volumes-alvo (CTV, PTV e GTV).	35
Figura 3.5 Esquema representativo do Programa de Controlo da Qualidade para IMRT.	40
Figura 3.6 Exemplo de uma distribuição de dose sagital para (a) Plano de RT convencional 2D com cunhas; e (b) Plano IMRT. Adaptado de [86].	59
Figura 3.7 Imagens de CT representativa dos movimentos respiratórios. Adaptado de [87]	60
Figura 4.1 Gráfico do número de tratamentos de IMRT realizados no parceiro clínicos nos anos de 2008, 2009 e 2010 (até Junho).	64
Figura 4.2 Esquema representativo da metodologia utilizada no estudo e análise dos workflows.	66
Figura 4.3 Esquema representativo do referencial utilizado para comparar as variáveis das actividades.	67
Figura 4.4 Exemplo da análise da etapa Avaliação do workflow 3D-CRT Próstata.	68
Figura 5.1 Comparação da duração dos principais procedimentos técnicos e clínicos da etapa do Planeamento dos workflows do parceiro clínico.	73
Figura 5.2 Comparação da duração dos principais procedimentos técnicos e clínicos da etapa do Tratamento dos workflows do parceiro clínico.	76
Figura 5.3 Comparação da duração dos principais procedimentos técnicos e clínicos da etapa do Planeamento dos workflows do parceiro clínico.	78
Figura 5.4 Comparação da duração dos principais procedimentos técnicos e clínicos da etapa do Tratamento dos workflows do parceiro clínico.	81

Figura 5.5 Comparação dos FTEs necessários por cada etapa, nas técnicas 3D-CRT e IMRT, na neoplasia da C&P.	83
Figura 5.6 Total de FTEs necessários para os workflows 3D-CRT e IMRT, e respectiva diferença, na neoplasia da C&P.	84
Figura 5.7 Comparação dos FTEs necessários por cada etapa, nas técnicas 3D-CRT e IMRT, na neoplasia da próstata.	85
Figura 5.8 Total de FTEs necessários para os workflows 3D-CRT e IMRT, e respectiva diferença, na neoplasia da próstata.	86
Figura 5.9 Comparação dos FTEs necessários por cada etapa, nas técnicas 3D-CRT e IMRT, na neoplasia da mama.	88
Figura 5.10 Total de FTEs necessários para os workflows 3D-CRT e IMRT, e respectiva diferença, na neoplasia da mama.	88
Figura 5.11 Representação esquemática do raciocínio utilizado para calcular o número máximo de tratamentos de IMRT (variável X) que é possível realizar, mantendo os FTEs do cenário actual (disponíveis actualmente no serviço).	93
Figura 5.12 Gráfico do número de total de tratamentos (3D-CRT e IMRT) em função do número de tratamentos de IMRT realizados anualmente.	95

Anexo 1

Figura A1.1 Vista do software de planeamento inverso (KonRad™, Siemens Medical Systems), onde se observa os diversos parâmetros clínicos (dose limite, parâmetros de ponderação, restrições de dose-volume) a definir, quer para os diferentes volumes-alvos como para os órgãos críticos, correspondente a um caso clínico de cabeça e pescoço. [10].....	111
---	-----

Anexo 7

Figura A7.1 Variáveis dos workflows do parceiro clínico.	126
Figura A7.2 Estudo e análise do workflow 3D-CRT da neoplasia da C&P do parceiro clínico.....	127
Figura A7.3 Estudo e análise do workflow 3D-CRT da neoplasia da próstata do parceiro clínico.....	128
Figura A7.4 Estudo e análise do workflow 3D-CRT da neoplasia da próstata do parceiro clínico.....	129

Figura A7.5 Estudo e análise do workflow IMRT da neoplasia da C&P do parceiro clínico.....	130
---	-----

Anexo 9

Figura A9.1 Variáveis dos modelos de workflows de IMRT.	134
---	-----

Figura A9.2 Estudo e análise do modelo de workflow IMRT para a neoplasia da próstata.....	135
--	-----

Figura A9.3 Estudo e análise do modelo de workflow IMRT para a neoplasia da mama.	136
---	-----

Índice de Tabelas

Tabela 1.1 Cronograma do período de estágio curricular.....	9
Tabela 2.1 Vantagens e Desvantagens da utilização da técnica IMRT.	30
Tabela 3.1 Recursos Humanos intervenientes em cada procedimento do workflow de EBRT, e respectivo responsável.	41
Tabela 3.2. Comparação das recomendações do número de RH mínimo, de um departamento de RT, entre a legislação Belga e o Blue Book dos USA. Adaptado de [46],[47]	43
Tabela 3.3. Duração das etapas do workflow de RT para 3D-CRT e IMRT, respectivamente, para neoplasia de C&P. Adaptado de [50].....	45
Tabela 3.4 Duração das etapas do workflow IMRT com MLC em modo estático, para neoplasia da próstata em estado avançado.....	46
Tabela 3.5 Média e mediana do tempo de tratamento por sessão de acordo com os diferentes parâmetros. Adaptado de [52].....	47
Tabela 3.6 Tempos médios de planeamento, contorno e tratamento para as neoplasias da C&P, próstata e pulmão, respectivamente.....	47
Tabela 3.7. Distribuições de custos de recursos e de grupos de actividade, da aplicação do modelo de custos ABC no Departamento de Radioterapia de Leuven. Adaptado de [57]	49
Tabela 3.8 Estratificação de risco sugerida nas guidelines do National Comprehensive Cancer Network e a respectiva terapia recomendada de acordo com a esperança média de vida do doente.....	52
Tabela 3.9 Revisão sistemática de estudos clínicos comparativos: toxicidade tardia e impotência sexual, nas técnicas de 3D-CRT e IMRT, para doentes com cancro da próstata.....	55
Tabela 3.10 Resumo dos estudos clínicos analisados sobre a comparação da toxicidade aguda e tardia, nas técnicas de 3D-CRT e IMRT, para doentes com cancro da próstata.	57
Tabela 3.11 Revisão sistemática de estudos clínicos comparativos: efeitos adversos da RT, nas técnicas de CRT e IMRT, para doentes com cancro da mama em estado inicial.	60

Tabela 4.1 Horas de trabalho, em horário completo em relação ao dia, semana, mês e ano, respectivamente.	67
Tabela 5.1 Tempos considerados para o cálculo da duração temporal da actividade “Realização do planeamento inverso computadorizado”, para a patologia da próstata. .	80
Tabela 5.2 Comparação da duração temporal da etapa “Planeamento”, da actividade “Tratamento diário” e do tratamento completo, nas técnicas de IMRT e 3D-CRT, para a neoplasia da C&P.....	82
Tabela 5.3 Comparação da duração temporal da etapa “Planeamento”, da actividade “Tratamento diário” e do tratamento completo, nas técnicas de IMRT e 3D-CRT, para a neoplasia da próstata.	85
Tabela 5.4 Comparação da duração temporal da etapa “Planeamento”, da actividade “Tratamento diário” e do tratamento completo, nas técnicas de IMRT e 3D-CRT, para a neoplasia da mama.....	87
Tabela 5.5 Cálculo do número de FTEs (pessoa-ano), em função da tipologia de RH, dedicados anualmente à realização de 3D-CRT à patologia da mama.	90
Tabela 5.6 Cálculo do número de FTEs (pessoa-ano), em função da tipologia de RH, necessários anualmente à realização de 277 tratamentos de 3D-CRT à patologia da mama.....	91
Tabela 5.7 Cálculo do número de FTEs (pessoa-ano), em função da tipologia de RH, necessários anualmente à realização de 138 tratamentos de IMRT à patologia da mama.....	91
Tabela 5.8 Cálculo do número de FTEs (pessoa-ano), em função da tipologia de RH, que será necessário anualmente à concretização do cenário ideal.	92
Tabela 5.9 Cálculo do custo anual resultante da contratação do número de FTEs (pessoa-ano), em função da tipologia de RH, à concretização do cenário ideal.	92
Tabela 5.10 Cálculo do número de FTEs (pessoa-ano), necessários anualmente à realização de Y tratamentos de 3D-CRT à patologia da mama.	94
Tabela 5.11 Cálculo do número de FTEs (pessoa-ano), necessários anualmente à realização de X tratamentos de IMRT à patologia da mama.	94
 Anexo 5	
Tabela A5.1 Escala de toxicidade aguda da NCI. Adaptado de [93].....	121

Tabela A5.2 Escala de classificação da morbidade tardia provocada pela radiação da RTOG/EORTC. Usada para efeitos adversos ocorridos 90 dias após o tratamento de radioterapia. Adaptado de [93]	121
---	-----

Anexo 6

Tabela A6.1 Terapêutica utilizada, custo unitário e respectiva duração no tratamento da toxicidade tardia e aguda.	123
--	-----

Anexo 7

Tabela A7.1 Número total de sessões e duração do tratamento dos workflows do parceiro clínico.	125
--	-----

Anexo 8

Tabela A8.1 Procedimentos considerados na análise dos workflows da técnica 3D-CRT.	131
--	-----

Tabela A8. 2 Procedimentos considerados na análise dos workflows da técnica IMRT.	132
---	-----

Anexo 9

Tabela A9.1 Número total de sessões e duração do tratamento considerados nos modelos de workflows de IMRT.	133
--	-----

Anexo 10

Tabela A10.1 Tabela salarial em regime de horário completo (40 horas/semana)...	137
--	-----

Tabela A10.2 Custo associado à diferença de FTEs por cada tratamento.	138
---	-----

Tabela A10.3 NDT de acordo com as taxas de toxicidade para a neoplasia da próstata e da mama.....	139
--	-----

Tabela A10.4 NDT e custo de cada caso de toxicidade considerados no modelo económico.....	139
--	-----

Tabela A10.5 Modelo Económico.....	140
---	-----

Acrónimos e Siglas

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
ABC	<i>Activity-Based Costing</i>
ACR	<i>American College of Radiology</i>
AJCC	<i>American Joint Committee on Cancer</i>
ASTRO	<i>American Society for Therapeutic Radiology and Oncology</i>
BT	Braquiterapia
C&P	Cabeça e Pescoço
CQ	Controlo de Qualidade
CRT	<i>Conformal Radiotherapy</i> - Radioterapia Conformacional
CT	<i>Computed Tomography</i> - Tomografia Computorizada
CTV	<i>Clinical Target Volume</i> – Volume-alvo Clínico
DMLC	<i>Dynamic Multileaf Collimator</i> – Colimador Multi-folhas Dinâmico
DVH	<i>Dose-Volume Histogram</i> - Histograma dose-volume
EBRT	<i>External Beam Radiotherapy</i> – Radioterapia Externa
EPID	<i>Electronic Portal Imaging Device</i> – Sistemas de Imagem Portal
FTE	<i>Full-Time Equivalent</i>
GI	Gastrointestinais
GTV	<i>Gross Tumor Volume</i> – Volume Tumoral Demonstrável
GU	Geniturinários
HT	<i>Helical Tomotherapy</i> – Tomoterapia Helicoidal
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>
ICRU	<i>International Commission on Radiation Units and Measurements</i>
IDI	Inovação, Investigação e Desenvolvimento
IGRT	<i>Image Guided Radiotherapy</i> – Radioterapia Guiada por Imagem
IM	<i>Internal Organ Motion</i> – Movimento dos órgãos internos

IMAT	<i>Intensity-Modulated Arc Therapy</i> - Arcoterapia de Intensidade Modulada
IMRT	<i>Intensity-Modulated Radiation Therapy</i> – Radioterapia de Intensidade Modelada
IT	<i>Information Technologies</i>
LINAC	<i>Linear Accelerator</i> - Acelerador Linear Clínico
MIMic	<i>Multileaf Intensity Modulating Collimator</i>
MLC	<i>Multileaf Collimator</i> - Colimador Multi-folhas
MR	<i>Magnetic Resonance</i> – Ressonância magnética
MRI	<i>Magnetic Resonance Imaging</i> – Imagem por Ressonância Magnética
MU	<i>Monitor Unit</i> – Unidade Monitor
NCCN	<i>National Comprehensive Cancer Network</i>
NCI	<i>National Cancer Institute</i>
NDT	Número de Doentes de IMRT a serem Tratados (para prevenir um caso de toxicidade)
OAR	<i>Organ at Risk</i> - Órgão de Risco
PCS	Prestador de Cuidados de Saúde
PET	<i>Positron Emission Tomography</i> - Tomografia por Emissão de Positrões
PSA	<i>Prostate-Specific Antigen</i> - Antígeno Específico da Próstata
PTV	<i>Planning Target Volume</i> - Volume-alvo de Planeamento
RH	Recursos Humanos
RT	Radioterapia
RTOG	<i>Radiation Therapy Oncology Group</i>
SA	Sociedade Anónima
SAD	<i>Source Axis Distance</i>
SM	<i>Setup Margin</i> – Margem de posicionamento
SMLC	<i>Segmental Multileaf Collimator</i> – Colimador Multi-folhas Estático

SPECT	<i>Single Photon Emission Computed Tomography</i> - tomografia computadorizada por emissão de fóton único
TMN	<i>Tumor, Nodes, Metastasis</i>
TPS	<i>Treatment Planning System</i> - Sistema de Planeamento de Tratamento
UK	<i>United of Kingdom</i>
US	Ultra-sons
USA	<i>United States of America</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>

1 Introdução

O presente trabalho centra-se no estudo da técnica de IMRT, num Serviço de Radioterapia de um PCS público, pioneiro na aplicação desta técnica a doentes com cancro da C&P, em Portugal.

Este projecto tem como objectivos estudar, avaliar e otimizar a implementação clínica da IMRT aplicada a patologias neoplásicas da próstata e mama. Neste contexto pretende-se, também, contribuir para a optimização e extensão da utilização da técnica a outras neoplasias, em substituição da radioterapia conformacional convencional, no parceiro clínico.

1.1 Enquadramento

Actualmente, apesar dos esforços verificados na luta contra o cancro, este continua a ser um problema de saúde pública e com enorme peso na sociedade. Segundo a plataforma estatística GLOBOCAN 2008 [1], desenvolvida pela *International Agency for Research on Cancer* (IARC), da *World Health Organization* (WHO), nas próximas

décadas, devido ao envelhecimento da população, vai verificar-se um crescimento acentuado da incidência e da mortalidade de novos casos de cancro. De referir que o estudo se baseia em projecções demográficas, considerando que as taxas de cancro permanecerão constantes.

Estima-se que em 2030, no conjunto de todos os países do mundo, o número de novos casos de cancro diagnosticados e de mortes, venha a duplicar. Em Portugal o panorama não é diferente, prevendo-se que em 2030, o cancro seja responsável por mais de 32 mil mortes por ano, um aumento de 34.5% em relação a 2008. Estima-se, ainda, que todos os anos surjam quase 56 mil novos casos, mais 12 mil do que em 2008 [1].

Segundo a GLOBOCAN 2008, o cancro da mama e da próstata são os cancros mais frequentes em Portugal no sexo feminino e masculino, respectivamente (Figura 1.1). Na Figura 1.2 está representada a estimativa da incidência do carcinoma da próstata e da mama para o ano 2030. No que diz respeito ao cancro da próstata, esta é a neoplasia que vai sofrer um maior crescimento dentro de duas décadas, correspondente a 43%.

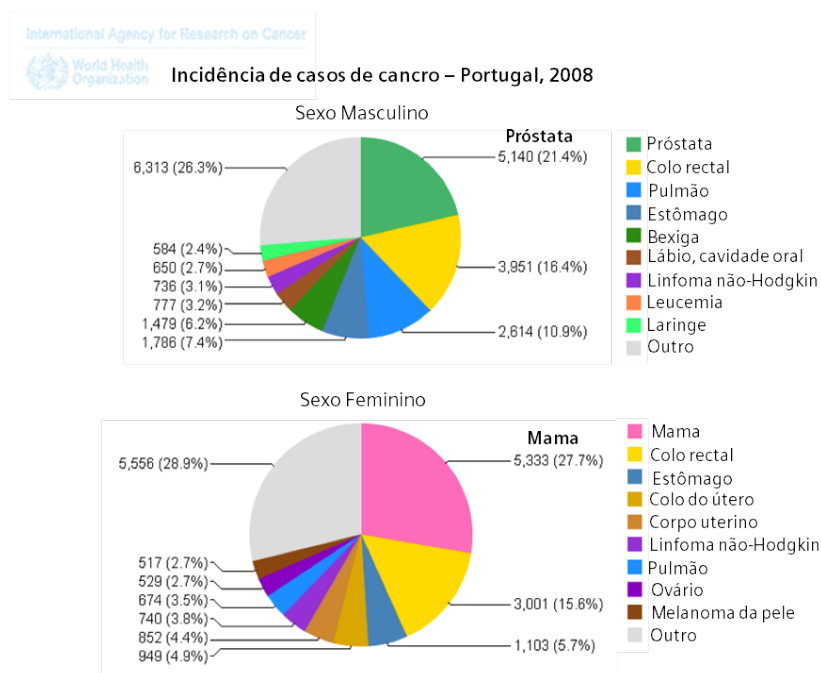


Figura 1.1 Estimativa da incidência de cancro em Portugal, por sexo, no ano de 2008. Adaptado de [1]

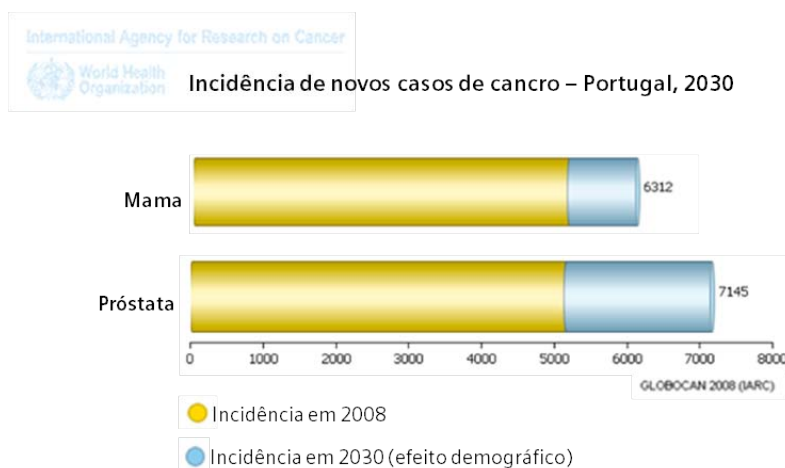


Figura 1.2 Estimativa da incidência de novos casos de cancro da mama e da próstata, respectivamente, devido ao efeito demográfico para 2030. Adaptado de [1]

Os avanços tecnológicos da radioterapia (RT) têm sido constantes. A RT ocupa um lugar importante no tratamento oncológico. Nos últimos anos, o seu leque de actuação foi muito alargado, sendo actualmente a terapêutica elegida em 50% a 60% dos tratamentos nos doentes oncológicos [2]. Após a radioterapia convencional, seguiu-se a radioterapia conformacional tridimensional (3D-CRT, do inglês *Three-Dimensional Conformal Radiotherapy*), com a capacidade de conformação geométrica do feixe de radiação dirigida ao volume-alvo. Por último, acrescentou-se a capacidade de utilização da modulação da intensidade do feixe com a radioterapia de intensidade modelada (IMRT, do inglês *Intensity-Modulated Radiation Therapy*), permitindo a conformação dosimétrica, que salvaguarda as estruturas adjacentes, bem como, o escalonamento de dose, mais eficaz do ponto de vista de controlo tumoral [3]. Na Figura 1.3 está esquematizado a evolução da conformação da dose nos diferentes tipos de radioterapia externa.

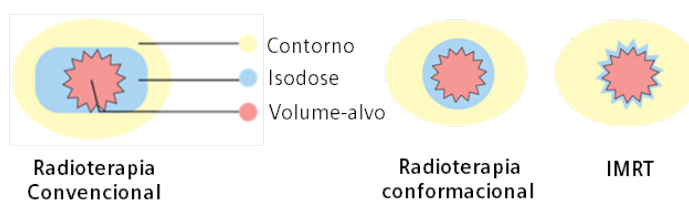


Figura 1.3 Esquema representativo da evolução da conformação da dose nos diferentes tipos de radioterapia externa. Adaptado de [4]

A IMRT é uma técnica que tem vindo a ser progressivamente implementada, desde a década de 90, quer nos Estados Unidos quer na Europa, inicialmente em instituições de referência internacional, mas actualmente com tendência a ser generalizada. Em

Catarina da Silva Barros

Portugal ainda são poucos os centros de RT a adoptar esta modalidade, sendo sobretudo empregue para as neoplasias de cabeça e pescoço, e próstata. Os resultados clínicos obtidos da aplicação desta técnica em rotina clínica, apesar de ainda escassos, são já bastante promissores, tendo impacto directo na melhoria da qualidade de vida do doente, com a diminuição dos efeitos adversos da terapia [5].

A IMRT é apenas uma das muitas tecnologias que têm sido desenvolvidas na área da saúde. Esta evolução tecnológica em saúde trouxe ganhos importantes para o diagnóstico e tratamento das mais variadas patologias. No entanto, este ganho em saúde faz-se acompanhar, muitas vezes, por um aumento de custos que pode ser insustentável para os sistemas de saúde e, consequentemente, para a sociedade. De acordo com Araújo *et al.* [6] constatou-se que em 2006 foram gastos, 565 milhões de euros no tratamento do cancro em Portugal, o que representa 3.91% dos gastos totais em saúde. É neste contexto de escassez de recursos e necessidades cada vez mais acentuadas que, nasce a necessidade de avaliação económica das tecnologias da saúde. Assim, é essencial avaliar e quantificar os custos, e as respectivas consequências/benefícios clínicos da utilização de uma tecnologia. Existem quatro resultados possíveis para uma análise custo-efectividade que podem ser representados num diagrama, ilustrado na Figura 1.4. Sendo que, no quadrante A é onde a maioria das novas tecnologias se posicionam quando entram no mercado (os resultados em saúde são melhores, mas os custos também são mais elevados). Assim, tecnologias posicionadas em B devem ser aceites de forma generalizada e as posicionadas em C devem ser rejeitadas. Por último, no quadrante D são posicionadas as tecnologias menos eficientes e com maiores custos, não havendo qualquer ambiguidade quanto à decisão a tomar [7].

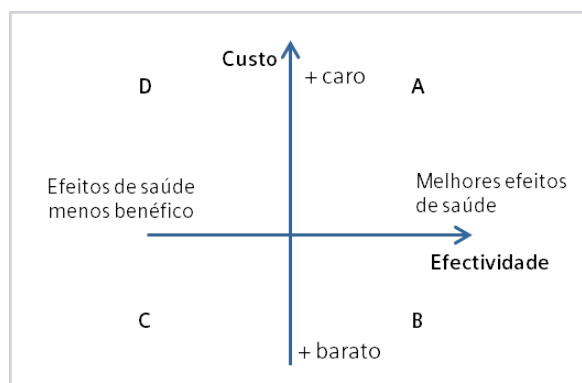


Figura 1.4 Diagrama Custo-Efectividade. Adaptado de [7]

1.2 Apresentação do projecto

Este projecto realizado em contexto empresarial pretende estudar, avaliar e optimizar a implementação da IMRT aplicada a carcinomas da próstata e mama, neoplasias com uma elevada taxa de incidência no panorama português [1].

Contudo, apesar das vantagens inerentes à utilização clínica da IMRT é necessário ter em conta a exigência da técnica, no que diz respeito, aos recursos humanos e tecnológicos, além dos respectivos custos associados.

Desta forma, foi necessário estudar a realidade nacional e internacional, nomeadamente o *workflow* de IMRT e respectivas variáveis, tais como a duração dos principais procedimentos operativos técnicos e clínicos, e recursos humanos e tecnológicos intervenientes, tendo como base a bibliografia actual.











Para a realização deste estudo, foi escolhido um PCS público, parceiro da Siemens SA - Sector *Healthcare*. O prestador seleccionado possui um elevado padrão de qualidade no que diz respeito à prestação de cuidados de saúde, sendo uma referência nacional no tratamento do doente oncológico. O Departamento de Radioterapia do PCS, introduziu em 2006 a técnica de IMRT e, após um ano, deu início aos tratamentos de casos clínicos de C&P. Neste prestador foram analisados todos os procedimentos do *workflow* 3D-CRT da próstata e da mama, e da cabeça e pescoço (com IMRT e 3D-CRT), o que contemplou uma caracterização dos recursos humanos e tecnológicos intervenientes e um mapeamento das tarefas que o integram, com a respectiva duração característica de cada tarefa mapeada. Estes dados para além de servirem de base para a realização do modelo da IMRT, serviram, ainda, para comparar a diferença de custos inerentes à realização da técnica para a mama e próstata, em relação à RT conformacional.

No enquadramento descrito, foi necessário estudar diversos temas que contribuíram, tanto para a compreensão do projecto em estudo, como para facilitar a troca de informação com os profissionais de saúde, tais como: (1) os conceitos básicos da RT; (2) os princípios adjacentes à RT conformacional convencional, e à IMRT; (3) as diversas técnicas de tratamento existentes em IMRT; e por último (4) as vantagens e desvantagens da IMRT.

Todo o trabalho foi desenvolvido com recurso ao programa Microsoft Office Excel 2007.

Na Tabela 1.1 é apresentado o cronograma representativo das tarefas, datas e metas traçados.

Tabela 1.1 Cronograma do período de estágio curricular.

Plano de Formação de Estagiários		Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Março	Conhecer a Siemens Healthcare				
	Cursos de Formação Internos				
	Estudo dos conceitos básicos da RT				
Abril	Estudo da 3D-CRT e da IMRT Início da escrita da tese				
Maio	Definição da metodologia e entidade cooperadora				
Junho	Estudo do <i>workflow</i> de RT e respectivas variáveis				
Julho	Levantamento e esquematização dos dados do parceiro clínico				
Agosto	Pesquisa bibliográfica sobre a taxa de toxicidade 3D-CRT vs. IMRT				
Setembro	Análise dos dados				
Outubro	Conclusão da tese				

1.3 Contribuições do trabalho

Uma das principais contribuições deste projecto será o colmatar de uma falha associada à falta de informação existente no que diz respeito aos principais procedimentos de IMRT realizados em prática clínica, numa realidade nacional. Existem alguns estudos internacionais sobre a comparação da duração temporal, bem como a carga de trabalho das diferentes tipologias de RH nos diversos procedimentos do *workflow* entre as técnicas de 3D-CRT e IMRT, no entanto, no panorama nacional esta técnica ainda não é de uso generalizado.

Desta forma, este projecto será enriquecedor na medida em que irá permitir estimar o tempo dos diferentes tipos de RH, e respectivos custos na realização de IMRT no lugar da RT conformacional para as patologias da próstata e mama.

1.4 Apresentação da Empresa

Com 500 centros de produção em 50 países e presença em 190 países, a Siemens está representada em todo o mundo. Em Portugal, a Siemens S.A. dispõe de duas unidades fabris, centro de investigação & desenvolvimento de software (Lisboa e Porto) e está presente em todo o país, através dos seus parceiros e das suas instalações. A empresa está desde 2008 organizada em três grandes sectores de actividade: *Industry, Energy e Healthcare*.

O Sector *Industry* dispõe de soluções para a indústria nas vertentes de produção, transporte e edifícios, segmentando-se em cinco áreas: *Industry Automation and Drive Technologies, Building Technologies, Industry Solutions, Mobility* e *OSRAM*.

O Sector *Energy* disponibiliza produtos e soluções para a geração, transmissão e distribuição de energia eléctrica, segmentando-se em seis áreas: *Fossil Power Generation, Renewable Energy, Oil & gas, Energy Service, Power Transmission* e *Power Distribution*.

O Sector *Healthcare* oferece um conjunto de produtos inovadores e soluções integradas, bem como serviços e consultadoria na área da saúde, segmentando-se em três áreas: *Imaging & IT, Workflow & Solutions* e *Diagnostics*.

A área *Imaging & IT* disponibiliza sistemas de imagem para diagnóstico precoce e intervenção, bem como para prevenção efectiva, nomeadamente Sistemas de Ressonância Magnética, Sistemas de Tomografia Axial Computorizada, Sistemas de Radiografia, Sistemas Angiográficos Digitais, Sistemas de Tomografia por Emissão de Positrões e Tomografia por Emissão de Fotão Único, Unidades de Ecografia, entre outros. Todos os sistemas estão interligados por tecnologias de informação de elevada performance, possibilitando uma optimização dos processos a nível dos prestadores de cuidados de saúde (sistemas de gestão hospitalar como o Soarian®, sistemas de processamento de imagem como o Syngo® e tecnologias *knowledge-based* como auxiliares de diagnóstico).

A área *Workflow & Solutions* disponibiliza soluções globais para especialidades como a cardiologia, a oncologia e a neurologia. Esta área fornece ainda soluções, como a saúde da mulher, a mamografia, e outras nas áreas de urologia, cirurgia e audiolgia, englobando igualmente a vertente de consultadoria e soluções globais (soluções globais para prestadores de cuidados de saúde). Simultaneamente, a área de *Workflow & Solutions* engloba a prestação de serviços pós-venda e gestão de clientes.

A área *Diagnostics* encerra a vertente de diagnóstico *in-vitro*, incluindo imunodiagnóstico e análise molecular. As soluções vão desde os aplicativos *point-of-care*, até à automatização de grandes laboratórios.

Desta forma, o Sector *Healthcare* é hoje a primeira empresa a nível mundial a disponibilizar um portefólio integrado de tecnologia que permite responder a todas as fases do ciclo de cuidados de saúde.

A Siemens *Information Technologies (IT) Solutions and Services*, um dos líderes em oferta de serviços na área das Tecnologias de Informação, funciona como unidade de negócio transversal.

Em Portugal, o Sector *Healthcare* da Siemens S.A. é um dos líderes de mercado no ramo dos cuidados de saúde. Reconhecido pelas suas competências, força de inovação em diagnóstico, tecnologias terapêuticas e engenharia de conhecimento, incluindo tecnologias de informação e integração de sistemas.

Nos últimos anos, o Sector *Healthcare* da Siemens SA tem promovido uma estratégia de contacto e parceria com a Comunidade Académica e Científica em Portugal, no sentido da criação de uma rede de conhecimento e parcerias estratégicas que potenciem a inovação, investigação e o desenvolvimento (IDI) na área da Saúde. Actualmente, o Sector *Healthcare* conta com um Grupo de IDI com mais de 15 elementos, desenvolvendo investigação em diversas áreas estratégicas: Sistemas de informação para a Saúde; Imagem Computacional; Análise Automática de Imagem Médica; Modelação e ferramentas de suporte à decisão e Avaliação Tecnológica Estratégica. Estas acções resultaram no registo de uma patente e submissão de duas outras, bem como na publicação de mais de dez artigos científicos.

1.4.1 Marcos Recentes em Portugal

Destaques:

- Parceiro de eleição na grande maioria dos projectos nacionais no segmento da saúde privada: Casa de Saúde de Guimarães, DIATON, Hospital Particular de Faro, Grupo Espírito Santo Saúde, Clínica Quadrantes e Clínica Dr. João Carlos Costa;
- Primeira instalação em Portugal do SOMATOM *Definition Flash*, na Clínica Dr. João Carlos Costa;
- Primeiro Mamógrafo *Inspiration* com Tomossíntese no Hospital da Luz;
- Fornecimento global das mais modernas soluções para o Serviço de Imagiologia do novo Hospital Pediátrico de Coimbra.

Algumas publicações do Grupo de IDI:

- F. Soares, et al., Towards the Detection of Microcalcifications on Mammograms Through Multifractal Detrended Fluctuation Analysis, 2009 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, Victoria, B.C., Canada (2009);
- L. Caldeira et al., New Evidences on Tumor Segmentation in Magnetic Resonance Brain Images, Medical Physics and Biomedical Engineering World Congress 2009;
- I. Duarte et al., Mammograms simulation on GATE, Medical Physics and Biomedical Engineering World Congress 2009;
- I. Sousa et al., Sampling strategies for perfusion quantification using PASL, ESMRMB Congress 2009
- C.Granja, et al., Optimization based in simulation. An Imaging Department Case-Study, eKNOW 2010
- Registo de patente DE 10 2007 053 393, System zur automatisierten Erstellung medizinischer Reports.

1.5 Organização da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos:

No Capítulo 1, é apresentado o enquadramento do projecto, com uma breve contextualização em que se descreve, de forma sucinta, os principais contributos e motivações para a realização do trabalho.

No Capítulo 2, são explicados os conceitos básicos utilizados em radioterapia, como os tipos de Radioterapia, objectivo e definições de volumes. Introduzem-se, ainda, os conceitos de radioterapia conformacional e IMRT, de forma clara e concisa. Por último, são referidas quais as aplicações clínicas do IMRT, as diversas técnicas de tratamento existentes e as vantagens e desvantagens da IMRT.

No Capítulo 3, apresenta-se uma breve descrição do processo global da radioterapia. Este capítulo fornece uma visão geral das etapas, processos e recursos humanos envolvidos no *workflow* de radioterapia externa (EBRT, do inglês *External Beam Radiotherapy*), bem como, na sua quantificação. Numa outra vertente, realizou-se um levantamento bibliográfico sobre os custos da radioterapia.

No Capítulo 4 é apresentada a metodologia utilizada para o estudo, onde se descreve, detalhadamente, todas as quatro etapas realizadas.

No Capítulo 5, apresentam-se os resultados do estudo e análise dos *workflows* do parceiro clínico, bem como os modelos de *workflow* de IMRT propostos para a neoplasia da próstata e da mama. Estes resultados são discutidos individualmente e depois para a mesma neoplasia comparam-se os *workflows* das técnicas 3D-CRT e IMRT e respectiva diferença de custos. Posteriormente, para neoplasia que apresenta maior potencial no que diz respeito a questões económicas, projectaram-se cenários para a sua implementação no Serviço de Radioterapia em estudo.

No Capítulo 6 apresenta-se as principais conclusões relativamente à utilização da IMRT em detrimento da 3D-CRT para o cancro da próstata e mama no parceiro clínico. Sintetiza-se os objectivos do projecto, aponta-se as limitações do mesmo e indica-se sugestões para um trabalho futuro. Por último, sucintamente, é relatada a apreciação final da experiência do estágio curricular realizado.

2 Radioterapia Externa

A Radioterapia é uma especialidade clínica que consiste na administração controlada de radiação ionizante para uso terapêutico, nas valências curativa ou paliativa. Na maioria das vezes é utilizada para tratamentos de tumores malignos, no entanto também é utilizada em patologias não-malignas [8].

O objectivo principal da radioterapia é administrar uma dose homogénea num volume tumoral bem definido, com grande precisão, causando o menor dano possível nos tecidos adjacentes [9], resultando na diminuição ou erradicação do tumor [10].

2.1 Conceitos básicos utilizados em Radioterapia

2.1.1 Tipos de Radioterapia

A radioterapia pode ser administrada de duas formas tecnicamente diferentes, consoante a localização da fonte de radiação. Desta forma, encontram-se definidos dois tipos de radioterapia: externa e interna.

Se a fonte de radiação for posicionada externamente ao doente é denominada EBRT, ou teleterapia. Caso a fonte de radiação se encontre localizada no interior do corpo do doente no seio ou nas vizinhanças do tumor, denomina-se por braquiterapia (BT) [11].

Na EBRT, a dose total é administrada em pequenas fracções diárias, durante ciclos de algumas semanas. Este método surgiu após observações que permitiram concluir que se obtinha uma taxa de cura bastante aceitável com efeitos secundários pouco significativos, através da administração de pequenas fracções, separadas por um intervalo mínimo de seis horas, permitindo, assim, a recuperação dos tecidos sãos.

2.1.2 Objectivo clínico da Radioterapia

O objectivo clínico da radioterapia depende das características da neoplasia, tais como, extensão da doença subclínica, localização e tipo de neoplasia.

O tratamento radical de neoplasias malignas tem intenção curativa, sendo o seu objectivo reduzir o número de células no tumor e obter um controlo tumoral permanente. O volume constituído pelo tumor macroscópico, isto é, clinicamente demonstrável, será objecto de uma dose superior à administrada no volume da doença subclínica [12].

Por outro lado, no tratamento paliativo de neoplasias malignas, o objectivo é o controlo de sinais ou sintomas devidos ao crescimento tumoral. Neste caso, a irradiação pode incluir todo ou apenas parte do volume tumoral demonstrável [12].

Por último, o tratamento da patologia benigna pode ter como finalidade reduzir ou extinguir a massa tumoral [12].

2.1.3 Definição de Volumes em Radioterapia

A prática da radioterapia implica a utilização de regras e de uma nomenclatura específica para definir a forma como os tratamentos devem ser descritos para permitir medir, registar e partilhar dados e informação entre instituições de forma clara e inequívoca. A *International Commission on Radiation Units and Measurements* (ICRU) no *Report 50* [12] e *62* [13], enumera e detalha a metrologia a usar para definir os volumes em EBRT.

O volume tumoral demonstrável (GTV, do inglês *Gross Tumor Volume*) define a parte visível ou palpável do tumor, já o volume-alvo clínico (CTV, do inglês *Clinical Target Volume*), é entendido como o volume a tratar, ou seja, o volume de tecido que engloba o GTV associado à extensão da doença maligna microscópica e subclínica. O êxito

terapêutico depende da eliminação deste volume. Por último, o volume-alvo de planeamento (PVT, do inglês *Planning Target Volume*) compreende o CTV com adição de uma margem de segurança. Esta margem de segurança considera as alterações do CTV motivadas pela mobilidade dos órgãos internos (IM, do inglês *Internal Organ Motion*) e de pequenas imprecisões no posicionamento do doente (SM, do inglês *Setup Margin*). A ICRU recomenda uma incerteza limite de $\pm 5\%$ na entrega de dose absorvida no PVT [14],[13]. O esquema ilustrativo da definição de tais volumes encontra-se na Figura 2.1.

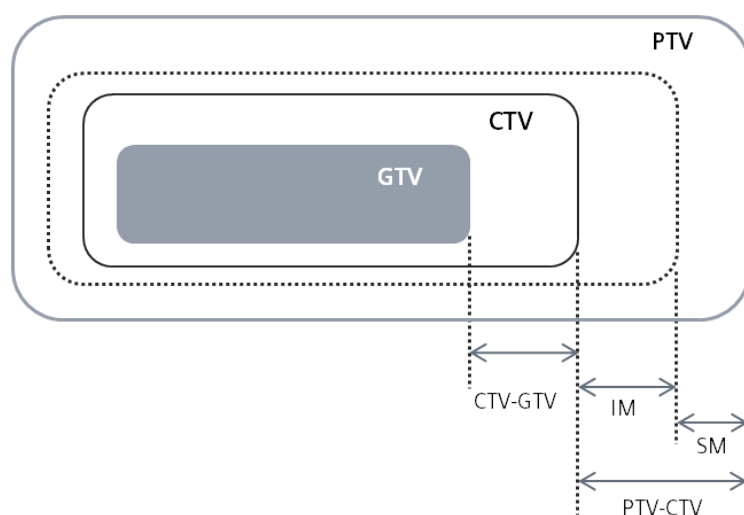


Figura 2.1. Ilustração dos volumes e margens relativas à definição do volume-alvo.[14]

2.2 Radioterapia conformacional

A 3D-CRT é uma técnica de EBRT que recorre à localização tridimensional computadorizada, de forma a empregar diversos campos de irradiação com o objectivo de proporcionar a melhor homogeneidade de dose nos volumes alvo e em simultâneo, a menor dose possível nos órgãos críticos adjacentes [15].

O planeamento conformacional 3D é realizado por processos de optimização do tipo *forward-based*, em que, a partir de uma configuração de feixe, é gerada uma distribuição de dose. Os sistemas de planeamento calculam para cada configuração de campo proposta, a distribuição do conjunto de isodoses, que é avaliada quantitativamente a partir dos histogramas de dose-volume (DVH, do inglês *Dose Volume Histogram*). Os DVHs são ferramentas estatísticas de dose que permitem saber a dose que chega a um determinado volume, de uma dada estrutura anatómica. Neste tipo de planeamentos a qualidade e o tempo do planeamento dependem directamente

da experiência profissional. Na Figura 2.2 encontra-se esquematizado o modelo do planeamento directo.

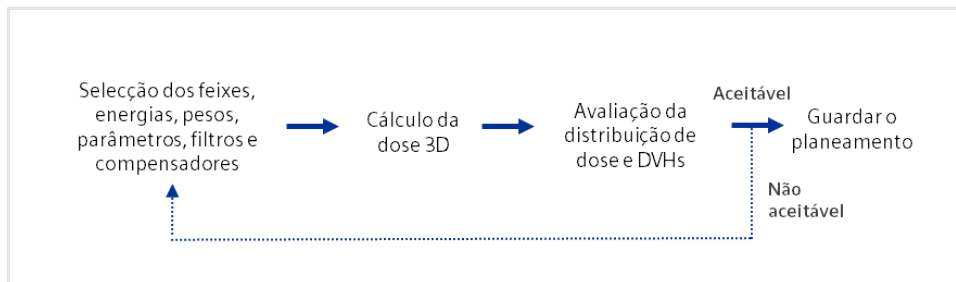


Figura 2.2. Modelo de planeamento directo. Adaptado de [16]

2.3 Radioterapia de Intensidade Modelada

A IMRT, que resulta da evolução das técnicas 3D-CRT, permite a conformação geométrica do feixe de radiação ao volume-alvo com maior precisão e, em simultâneo, a modulação da intensidade do feixe, possibilitando criar mapas de fluências de acordo com a diferente actividade tumoral [17],[18].

O desenvolvimento da IMRT surge da necessidade premente em obter distribuições de dose precisas conformadas ao PVT, minimizando as doses nos órgãos de risco (OARs, do inglês *Organs at Risk*). Dado ser uma técnica relativamente mais complexa do que a tradicional 3D-CRT, permite ultrapassar limitações ainda existentes nesta última, em particular para volumes com regiões côncavas ou formas complexas. Para além disso, permite poupar, com maior eficácia, os tecidos saudáveis adjacentes ao PVT [17].

A modulação da intensidade do feixe é empregue há décadas na sua forma mais simplificada, com a utilização de filtros em cunha, blocos e compensadores, que ao atenuar a forma do feixe, alteraram a forma das curvas de isodose, como está ilustrado na Figura 2.3 [19].

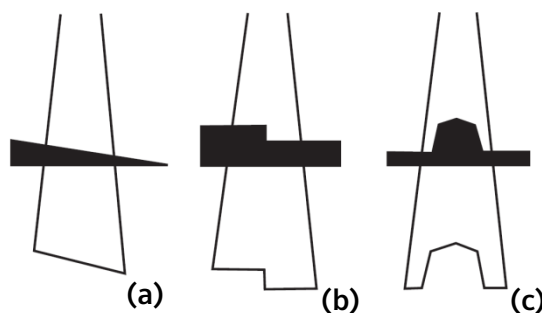


Figura 2.3 Esquema ilustrativo da modulação da intensidade do feixe recorrendo: (a) Cunhas (modulação a 1 dimensão); (b) Blocos; (c) Compensadores (modulação a 2 dimensão). [19]

2.3.1 Planeamento Inverso

Com a necessidade de modulação do feixe da IMRT, surgiu uma nova concepção de planeamento – o planeamento inverso. Este novo método de planeamento baseado no cálculo inverso, em vez de partir de uma configuração de campos para obter uma distribuição de dose (como o planeamento directo), realiza o percurso inverso. Face à distribuição de dose prescrita, obtém-se os parâmetros do feixe e respectivas direcções, que melhor se adequam ao caso em estudo [20].

Neste tipo de planeamento, começa-se por especificar, matematicamente, o objectivo clínico do tratamento através de uma função objectivo¹, também conhecida por função custo. Posteriormente, definem-se os limites de dose exigidos no PVT, as restrições de dose-volume, assim como, as respectivas ponderações de acordo com o seu grau de importância. Para os OARs são estabelecidas restrições de dose limite e os respectivos factores de prioridade relativa. Após os dados serem introduzidos no sistema, conforme ilustra a Figura A1.1 do Anexo 1, inicia-se o processo de optimização de múltiplas variáveis, com vista a obter a solução que consegue minimizar a função objectivo. O *software* de planeamento executa, iterativamente, a distribuição de dose, tendo em conta a intensidade dos feixes e o objectivo da irradiação, aproximando a distribuição de dose, o mais possível, do desejado [21].

No caso da distribuição de isodose calculada computacionalmente, em conjunto com os DHVs não ser satisfatória, então, repete-se a optimização com alteração dos parâmetros clínicos até ser alcançada uma solução satisfatória [16]. Na Figura 2.4 está, esquematicamente, representado o modelo de planeamento inverso.

¹ A função objectivo é definida como a soma dos quadrados das diferenças entre as distribuições de dose calculada e a dose prescrita, em todas as estruturas anatómicas, multiplicado pelo respectivo factor de ponderação [21]:

Onde: S = Resultado da função objectivo
 d_t = Dose do alvo pretendida
 D_t = Dose calculada do alvo
 P_N = Factor de ponderação relativo para o tecido saudável
 d_N = Restrição de dose no tecido saudável
 D_N = Dose calculada para o tecido saudável

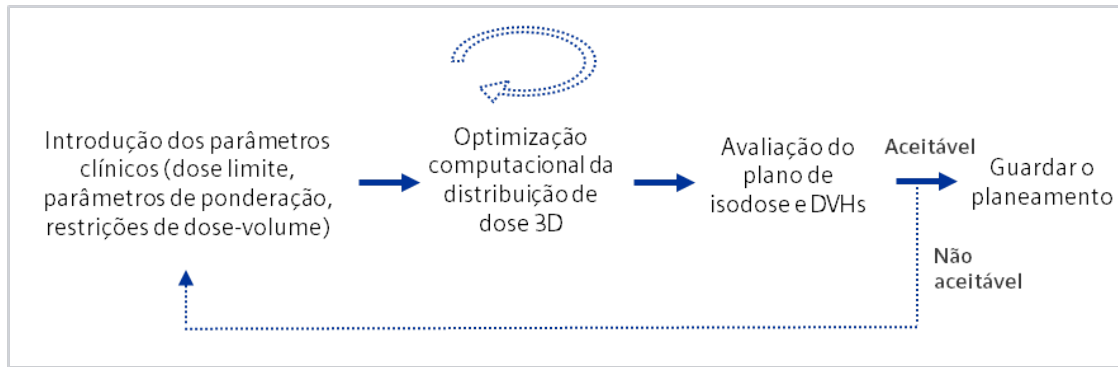


Figura 2.4 Modelo de Planeamento Inverso. Adaptado de [16]

A escolha dos algoritmos e formalismos matemáticos depende da natureza da função objectivo utilizada. Os métodos de optimização computacional podem ser de carácter determinístico (técnica do gradiente) ou estocástico. No primeiro caso, o método apenas aceita a mudança de plano se houver uma diminuição do valor da função objectivo. Por outro lado, a optimização estocástica pode aceitar uma mudança de plano, com o consequente aumento do valor da função objectivo [17].

Os algoritmos determinísticos podem levar a uma descida acentuada do valor da função objectivo, sendo que normalmente estes resultados são interpretados como o *plano ideal*. No entanto, em funções que possuem mínimos relativos estes podem ser, erradamente, considerados como o plano ideal. Nestes casos, apenas os métodos de optimização estocástica podem encontrar o mínimo absoluto da função objectivo [17].

2.3.2 Aplicações clínicas do IMRT

A IMRT pode ser prescrita para o tratamento de qualquer tumor. No entanto esta técnica é vantajosa, comparativamente à 3D-CRT, quando os planeamentos exigem distribuições de dose muito conformadas e onde a protecção de estruturas críticas exige a criação de concavidades. A utilização mais frequente desta técnica é no tratamento de tumores com formas complexas, por exemplo formas côncavas, com estruturas críticas adjacentes, como está ilustrado na Figura 2.5. Carcinomas da mama, próstata, pulmão, cabeça e pescoço (Figura 2.6), são exemplos de patologias que exigem, frequentemente, distribuições de dose complexas [17],[22].

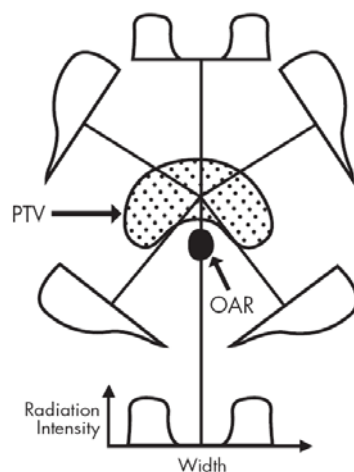


Figura 2.5 Esquema ilustrativo da distribuições de dose no tratamento de um PTV de forma côncava, utilizando 5 feixes. [19]

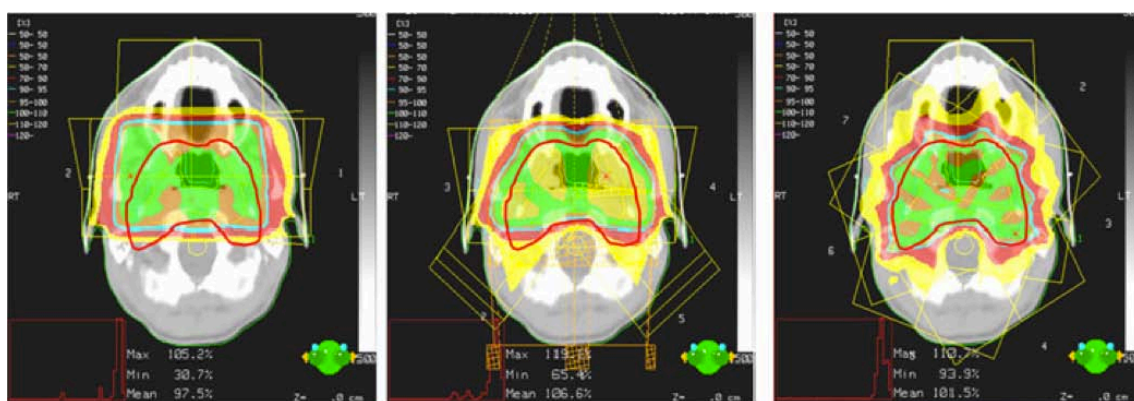


Figura 2.6 Comparação dosimétrica (a) tratamento convencional 2D (3 feixes); (b) tratamento convencional 3D (6 feixes); e (c) tratamento IMRT (7 feixes). [23]

2.3.3 Ferramentas de tratamento em IMRT

Diferentes técnicas têm sido desenvolvidas para realizar tratamentos com IMRT. De entre estas, as que têm merecido mais atenção são: as técnicas de IMRT com colimador multi-folhas convencional, a tomoterapia e o acelerador linear robótico.

As técnicas referidas serão descritas em seguida, com ênfase na técnica de IMRT com colimador multi-folhas, em modo estático, visto ser o alvo do estudo deste trabalho.

IMRT com colimador multi-folhas convencional

A IMRT pode ser realizada recorrendo a um colimador multi-folhas convencional (MLC, do inglês *Conventional Multileaf Collimator*), que se encontra acoplado a um

acelerador linear (LINAC, do inglês *Linear Accelerator*). O MLC para além de permitir a conformação geométrica, permite a modulação da intensidade do feixe. Na Figura 2.7 (a) encontra-se representado um acelerador linear e na Figura 2.7 (b) um sistema de MLC, visto de baixo.

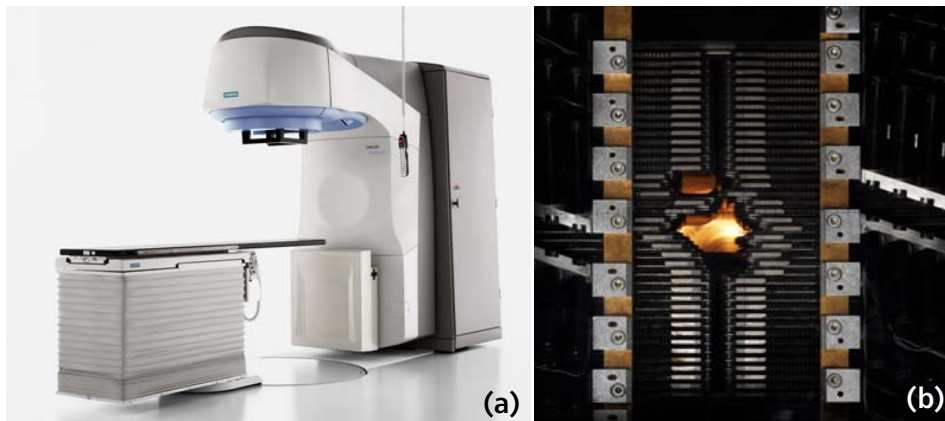


Figura 2.7 (a) Acelerador Linear (Siemens ONCOR™ Avant-Garde, Concord, USA); (b) Sistema de MLC de 160 folhas (Siemens ARTISTE™, Concord, USA).

O MLC é constituído por 80 a 160 folhas de tungsténio absorvente, localizadas em dois lados opostos e que possuem uma largura que varia de alguns milímetros a 1 cm (ao nível do isocentro). Para além do número e largura das folhas, este caracteriza-se ainda pelo tamanho de campo máximo, distância máxima de deslocação (relativamente ao eixo central), factor de transmissão e velocidade máxima de deslocamento das folhas [18]. As folhas do MLC podem ser controladas independentemente entre si, com recurso a um *software* específico e movidas para posições que permitam moldar geometrias adequadas ao PTV [24], como está ilustrado na Figura 2.8.

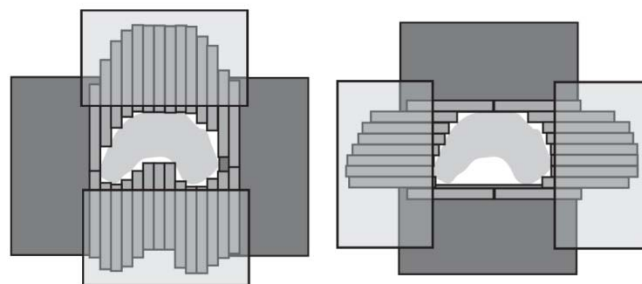


Figura 2.8 Ilustração de um MLC a moldar um PTV. [24]

A principal diferença entre a utilização do MLC para a técnica de IMRT e para a RT conformacional convencional é a precisão mecânica do primeiro. A precisão da dose administrada depende, tanto da precisão da posição da folha individual, como da

precisão da largura de campo, definida pela abertura das folhas opostas. Enquanto que, na RT por campos convencionais é aceitável que a precisão das folhas tenha uma tolerância de 1-2 mm, no IMRT a dose tem de ser conformada ao volume-alvo. Desta forma, a *American College of Radiology* (ACR) e a *American Society for Therapeutic Radiology and Oncology* (ASTRO) recomendam incorporar o controlo de qualidade (CQ, do inglês *Quality Assurance*) na rotina do MLC [25].

De acordo com a terminologia recomendada pelo *IMRT Collaborative Working Group* [21] existem três métodos distintos nos quais se baseia a utilização do MLC: (1) modo dinâmico (DMLC, do inglês *Dynamic Multileaf Collimator*) ou *sliding window*; (2) modo estático (SMLC, do inglês *Segmental Multileaf Collimator*), também conhecido como *step-and-shoot* ou *stop-and-shoot*; e (3) arcoterapia de intensidade modulada (IMAT, do inglês *Intensity Modulated Arc Therapy*).

IMRT com MLC em modo estático - “*step-and-shoot*”

A SMLC é uma técnica de IMRT, vulgarmente, conhecida por *step-and-shoot*, onde se utilizam múltiplos campos estáticos, mantendo a direcção do feixe constante.

A SMLC consiste na formação de feixes de intensidade modelada e respectivos mapas de fluência, através da definição de uma sequência de campos, que por sua vez, são definidos pelas diferentes posições das folhas do MLC. Enquanto as folhas do colimador adquirem uma nova configuração o feixe é interrompido, sendo novamente accionado quando as folhas adquirem uma configuração diferente da primeira [26]. Portanto, a *gantry* não se move durante a irradiação [20].

Cada configuração do MLC designa-se de segmento, o mapa de fluência final corresponde à soma ponderada da dose distribuída em cada segmento (Figura 2.9).

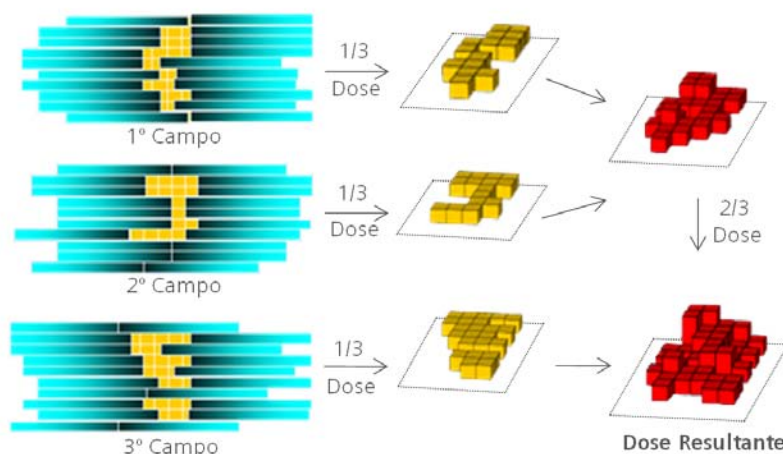


Figura 2.9 Esquema representativo do perfil de dose obtido por uma sequência de SMLC. Adaptado de [27]

As intensidades de cada segmento são moduladas individualmente, resultando em níveis discretos de intensidade. Inevitavelmente, a conversão do perfil original desejado para níveis discretos a provoca degradação da distribuição de dose resultante (Figura 2.10). O nível de degradação depende tanto da resolução espacial, como do número de níveis de intensidade utilizados durante a aproximação [26].

Quanto maior for o número de níveis de intensidades utilizados, maior a proximidade entre os métodos SMLC e DMLC. Contudo, a utilização de muitos segmentos, pode resultar em problemas de linearidade para alguns LINACs [26].

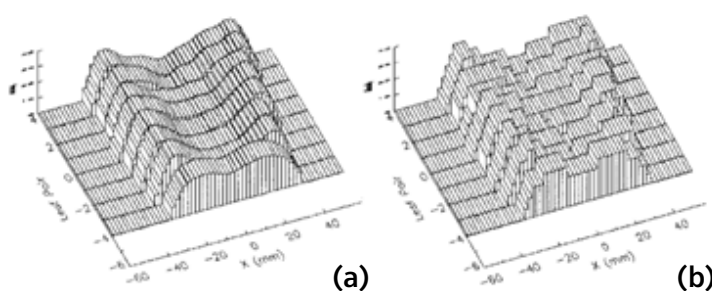


Figura 2.10 (a) Distribuição de intensidades desejado, produzido pelo planeamento inverso; (b) Distribuição de intensidades depois de convertido em níveis discretos de intensidade. [26]

Este método tem a vantagem de ser mais simples em comparação com o DMLC, visto ser uma extensão do uso convencional do MLC. Como tal, é menos exigente em termos de verificação e controlo de qualidade, por ser menos sensível ao movimento do doente

[25]. Adicionalmente, também tem a vantagem de poder ser implementada tanto por planeamento inverso, como por planeamento directo [21].

As suas desvantagens incluem a complexidade da técnica SMLC com o uso de um elevado número de segmentos, assim como o elevado tempo de tratamento requerido.

IMRT com MLC em modo dinâmico - *sliding window*

Na técnica *sliding window*, a intensidade do feixe é modulado devido ao movimento contínuo do par de folhas do MLC [26], com velocidades variáveis, enquanto a *gantry* roda.

Para um ângulo fixo da *gantry* e do colimador verifica-se, durante o tratamento, um deslocamento contínuo de cada folha através do volume-alvo. A abertura e velocidade de cada folha são ajustadas continuamente durante o movimento, sendo funções dependentes do tempo. A variação da velocidade e da distância entre as folhas permite obter o perfil de fluência desejado, em determinado ponto. Deste modo, alterando a abertura das lâminas e a velocidade de movimento de cada folha serão obtidas diferentes matrizes de intensidades [17].

A maior vantagem da técnica DMLC é que o movimento contínuo da folha permite que o perfil de intensidades corresponda exactamente ao desejado, preservando as resoluções de intensidades e resoluções espaciais [26]. Em contrapartida, é mais exigente em termos de verificação e controlo de qualidade, pois é mais sensível à precisão do posicionamento das folhas e é necessário avaliar outros factores, tais como, a velocidade das lâminas, manutenção da taxa de dose e o sincronismo com o mapa de fluência planeado, o que torna o processo mais complexo [25].

O movimento das folhas durante o tratamento é muito preciso e a dispersão e a transmissão por ou entre as folhas do MLC devem ser consideradas nos cálculos dosimétricos. O tempo do tratamento depende da complexidade do mesmo, contudo esta técnica é mais rápida do que o SMLC e do que a radioterapia convencional usando campos de MLC estáticos [28].

Arcoterapia de intensidade modulada (IMAT)

A técnica de arcoterapia de intensidade modulada foi descrita pela primeira vez por Yu *et al.*, em 1995. A modalidade IMAT é uma forma de intensidade modulada em que, o MLC muda a forma do campo de tratamento dinamicamente, enquanto a *gantry* roda em torno do paciente. A forma do campo é definida pela mudança contínua do MLC,

em modo dinâmico, enquanto que a intensidade modulada é obtida através de múltiplos arcos rotacionais. Para esta técnica, o cálculo de dose é mais complexo do que o cálculo devido ao facto da forma do campo estar continuamente a ser alterada durante uma irradiação.

Tomoterapia

Tomoterapia significa "*slice therapy*", é uma forma de IMRT em que a dose de radiação é transmitida através da rotação do *gantry*. Esta técnica é comparada a tubos de raio-X a rodarem em torno do paciente na aquisição de uma imagem de tomografia computadorizada (CT, do inglês *Computed Tomography*), podendo ser entregue por intermédio de dois métodos distintos, através da tomoterapia sequencial ou tomoterapia helicoidal (HT, do inglês *Helical Tomotherapy*) [21],[29].

A tomoterapia sequencial proposta por Mackie *et al.* [30], foi desenvolvida na Universidade Wincosin e foi introduzida comercialmente (Peacock MIMiC, NOMOS Corporation), Figura 2.11 (a). O sistema *Multileaf Intensity Modulating Collimator* (MIMiC), representado na Figura 2.11 (b), baseia-se na utilização de um feixe estreito colimado por um micro MLC que pode ser acoplado a um LINAC convencional de baixa megavoltagem. O MIMiC irradia dois cortes finos de uma vez, por rotação do colimador, através da rotação de uma série de ângulos da *gantry* [18].

A HT tem-se tornado, recentemente, um método atractivo de entrega de IMRT. A razão é que o elevado número de projecções do feixe produz uma elevada conformidade da distribuição de dose em alvos complexos. Nesta técnica, o movimento da mesa de tratamento é contínuo à medida que a *gantry* gira em torno do doente, o esquema representativo do seu funcionamento encontra-se na Figura 2.11 (c). Como se observa na Figura 2.11 (d), o respectivo MLC binário é muito similar ao MIMiC, consiste em séries de duas folhas posicionadas, totalmente abertas ou fechadas, de forma a criar um feixe de fotões de intensidade modelada [31].

A HT difere da tomoterapia adoptada pela NOMOS, no facto do fornecimento de radiação ser realizada de forma helicoidal, sem necessidade de mover o doente manualmente entre os diferentes arcos.

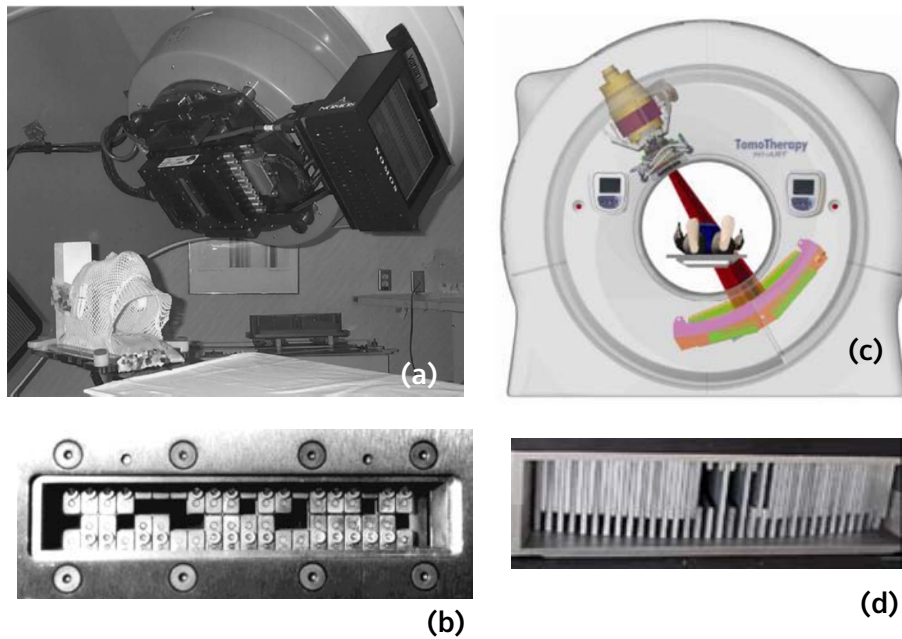


Figura 2.11 Tomoterapia: (a) Tomoterapia sequencial (Peacock MIMiC, NOMOS Corporation)[21]; (b) Sistema MIMiC [32]; (c) Tomoterapia helicoidal (Hi-Art, Tomotherapy Inc.)[33]; (d) MLC binário da tomoterapia helicoidal [33].

Acelerador Linear Robótico

O acelerador linear robótico, conhecido comercialmente por *CyberKnife* (CyberKnife®, Accuray Inc.) foi um conceito desenvolvido, primeiramente, para radiocirurgia e foi proposto por um neurocirurgião, na Universidade de *Stanford*. O acelerador linear robótico é um sistema de radiocirurgia estereotáxica complexo, constituído por um LINAC capaz de produzir 6MV. De dimensão e peso reduzido, é montado num braço robótico flexível, com 6 graus de liberdade. O robot é guiado a partir de duas imagens de diagnóstico ortogonais de raio-X. Durante o tratamento as imagens de raio-X são comparadas com as radiografias digitais reconstruídas, sendo a posição do robot ajustada de acordo com o resultado da comparação das duas imagens. Este braço robótico permite compensar, automaticamente, os movimentos de intra-fracção (movimento provocado pelo sistema respiratório, cardíaco e digestivo) e inter-fracção (movimento intestino/bexiga e ganho/perda de peso) do doente durante a irradiação [18],[34].

Trata-se portanto de um sistema de extrema precisão de radioterapia guiada por imagem a tempo-real e de radioterapia adaptativa, que tem em conta o movimento do doente, oferecendo uma exactidão superior na distribuição de radiação durante o tratamento [18].

2.3.4 Vantagens vs. Desvantagens da IMRT

Como já foi referido, uma das maiores vantagens da IMRT em relação ao 3D-CRT é a sua capacidade e precisão ao produzir uma elevada conformidade nas distribuições de dose, essencialmente de forma côncava, que representam cerca de 30% dos casos clínicos [35]. Essa conformidade pode ser explorada para criar uma queda acentuada de dose perto dos limites do volume-alvo e das estruturas críticas, produzindo desta forma, diferenças de gradientes de dose mais acentuados do que aqueles obtidos em 3D-CRT. Como resultado, a IMRT permite um aumento do controlo tumoral e em simultâneo a diminuição da toxicidade do tecido saudável, com consequente diminuição dos efeitos agudos e tardios resultantes da terapia [17].

No entanto, o facto de a IMRT conformar de forma muito rígida a distribuição de dose ao volume-alvo, pode torná-la potencialmente perigosa, comparativamente aos métodos convencionais. O aumento do gradiente de dose e a elevada conformação fazem com que a técnica seja mais sensível e menos indulgente a incertezas geométricas, na definição clínica de volumes-alvos e estruturas críticas. Para aumentar a exactidão da localização e contorno do GTV, CTV, PVT e dos OARs com a IMRT há a possibilidade de recorrer a técnicas avançadas de imagem e a sobreposição com co-registo de várias modalidades imagiológicas, tais como, CT, ressonância magnética (MR, do inglês *Magnetic Resonance*), tomografia computadorizada por emissão de fóton único (SPECT, do inglês *Single Photon Emission Computed Tomography*), tomografia por emissão de positrões (PET, do inglês *Positron Emission Tomography*) e PET/CT. Contudo por vezes, estas técnicas não são suficientes. O aumento do tempo de irradiação diário, provocado pela complexidade da técnica, tal como os movimentos de intra-fracção e de inter-fracção, fazem com que a IMRT seja mais exigente em relação a técnicas de posicionamento do doente, acessórios de imobilização, assim como, a técnicas de localização e monitorização do movimento dos órgãos [16].

Alguns autores como Zhen, W. *et al.* [35], defendem que a heterogeneidade da dose no volume-alvo provocada pela IMRT constitui uma desvantagem comparativamente com as restantes técnicas de conformação. No entanto, esta pode também ser considerada como uma vantagem da IMRT, visto que permite uma melhor conformidade da heterogeneidade do PVT. Estas heterogeneidades podem ser controladas de forma a não prejudicar o planeamento, através das restrições dos volumes-alvos e OARs.

Outra desvantagem apontada a esta técnica é o consequente aumento da carga de trabalho do equipamento devido, essencialmente, ao aumento da dose total, elevado

número de segmentos utilizados, aumento do tempo de irradiação diário/doente, o aumento das unidades monitoras² (MU, do inglês *Monitor Unit*) e também à necessidade de uma verificação e controlo de qualidade diário [35].

Tradicionalmente, os doentes com múltiplos alvos de tratamento e com campos de prescrição de dose diferentes eram tratados sequencialmente com planos de dose individual. A IMRT tornou possível a realização de múltiplos tratamentos em simultâneo, onde todo o tratamento pode ser integrado num único plano de tratamento. Além de todo o processo ser mais eficiente, também permite otimizar as doses globais, dado que, considera as interações de diferentes prescrições de dose para o mesmo tratamento [17].

É essencial compreender que a IMRT pode ser exacta e precisa, no entanto é necessário tempo, equipamento e investimento, estando a eficácia e o sucesso do tratamento dependente destas variáveis. Ainda assim, existem ainda algumas dificuldades técnicas e falta de conhecimento clínico que podem limitar a capacidade de estender o uso de IMRT a muitas patologias. Embora algumas das limitações possam ser superadas, os riscos da utilização abusiva de IMRT pode ser significativo.

Na Tabela 2.1 estão apresentadas, resumidamente, as vantagens e desvantagens da utilização da técnica IMRT.

² A Unidade Monitora é uma medida do acelerador linear, que corresponde à dose absorvida por cada 1cGy=1rad, a uma profundidade de dose máxima, para um campo de tamanho 10x10 cm, correspondente a uma fonte de distância do eixo (SAD, do inglês *Source Axis Distance*) de 100cm.

Tabela 2.1 Vantagens e Desvantagens da utilização da técnica IMRT.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Elevada conformação na distribuição de dose; • Aumento do gradiente de dose; • Aumento do controlo tumoral; • Diminuição da toxicidade dos tecidos saudáveis; • Diminuição dos efeitos secundários, agudos e tardios do tratamento; • Possibilidade de fusão de imagens (CT, RM, SPECT, PET e PET/CT); • Optimização da planimetria é gerada por algoritmos computacionais, em vez de depender directamente da experiência do físico ou do técnico dosimetrista; • Possibilidade de realizar múltiplos tratamentos em simultâneo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mais exigente na localização exacta do GTV, PVT, CTV e OARs; • Mais sensível aos movimentos de inter-fração e intra-fração; • Dose heterogénea no volume alvo; • Aumento do tempo de planeamento e do tratamento diário; • Aumento dos recursos humanos e tecnológicos; • Necessidade de formação específica; • Aumento do desgaste do equipamento; • Necessidade de CQ adicional.

3 *Workflow* de Radioterapia

O processo global de radioterapia inicia-se com o diagnóstico e termina no *follow up*, quando os indicadores clínicos estabelecidos em amplos consensos internacionais permitem garantir o resultado positivo da terapia [3]. Durante todo este processo, são várias as etapas e os meios técnicos e humanos necessários à realização do tratamento. Este capítulo fornece uma visão geral das etapas, processos e recursos humanos envolvidos no *workflow* de EBRT, bem como, na sua quantificação. Realizou-se também um levantamento bibliográfico sobre os custos da radioterapia.

3.1 Procedimentos operativos técnicos e clínicos

Os procedimentos operativos, técnicos e clínicos na EBRT, variam de instituição para instituição dependendo, essencialmente, do volume assistencial e dos recursos tecnológicos e humanos disponíveis. Contudo, existem etapas do *workflow* da RT, transversais a todas as instituições. Estas etapas devem ser devidamente documentadas e realizadas por pessoal qualificado, de acordo com os protocolos nacionais ou internacionais que tenham sido adoptados por cada instituição.

Na Figura 3.1, estão esquematizadas as principais actividades de um procedimento de EBRT, que incluem: avaliação clínica, imobilização, aquisição de imagens, delineamento de volumes, dosimetria clínica, simulação do tratamento, posicionamento, tratamento, verificação e controlo de qualidade e por último, *follow up*. Esta sequência de processos é muitas vezes comparada a uma corrente, com os vários elos de ligação, nenhum deles pode ser descuidado, pois pode comprometer todo o processo [10].

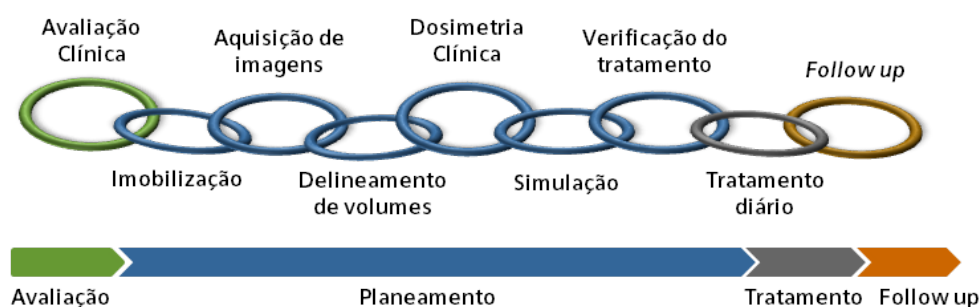


Figura 3.1 Esquema das principais etapas de um tratamento de radioterapia externa.

De seguida será feita uma descrição de cada uma das etapas acima representadas, para um serviço que dispõe de um sistema de planeamento de tratamento (TPS, do inglês *Treatment Planning System*) 3D e um acelerador linear com MLC e com sistema electrónico de imagem portal (EPID, do inglês *Electronic Portal Imaging Device*). De salientar que, o conhecimento sobre a maioria das etapas indicadas seguidamente, foi adquirido durante as visitas ao Serviço de Radioterapia em estudo.

3.1.1 Avaliação Clínica

A avaliação clínica é a primeira etapa de todo o *workflow*, onde o médico especialista em RT avalia o estado geral do doente. Geralmente, é realizada numa consulta de pré-planeamento [36].

O médico radioterapeuta, responsável por todo o processo de tratamento do doente, reúne o historial clínico do doente que incluem: anamnese, codificação da doença, estadiamento da doença, antecedentes clínicos pessoais e familiares, exame físico e informações dos exames complementares de diagnóstico (imagem médica, biopsia, análises clínicas, entre outros) [36]. Após a avaliação da extensão da doença, o clínico define a estratégia do tratamento, como: imobilização, duração do tratamento, dose total, definição dos volumes-alvos (PTV, CTV e GTV), definição dos OARs a proteger, bem como respectivas doses de tolerância.

Ao longo desta etapa, o doente é devidamente informado acerca da sua patologia, da terapia a adoptar, assim como dos possíveis efeitos agudos e tardios que poderá vir a manifestar. Por norma, o serviço dispõe de uma equipa de enfermagem que fornece ao doente e seus acompanhantes toda a informação acerca de como se desenrolará o tratamento, bem como dos cuidados a ter durante o mesmo.

3.1.2 Imobilização

Nesta etapa, o médico especialista em RT, de acordo com a localização do tumor e a técnica de radioterapia prescrita, define o posicionamento e a imobilização a adoptar, durante todo o tratamento. A imobilização tem três funções essenciais: (1) permitir a reprodutibilidade da posição do doente durante todo o processo de tratamento, desde a aquisição de imagens até ao tratamento; (2) permitir a reprodutibilidade da posição do doente ao longo do(s) ciclo(s) de tratamento [37].

Os acessórios de imobilização padronizados, para além de permitirem a imobilização, garantem conforto para o doente, assim como agilidade no posicionamento por parte do técnico no dia-a-dia. Alguns exemplos deste tipo de acessórios são: suportes de cabeça e pescoço (Figura 3.2 (a)), bases que incluem apoios para ombros, tronco e pernas (Figura 3.2 (b) e (c)), suportes para elevação de braços (Figura 3.2 (d)), entre outros.

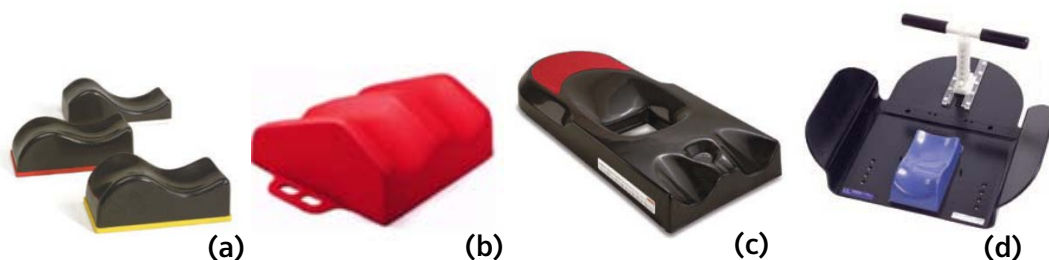


Figura 3.2. Exemplos de acessórios de imobilização: (a) Suporte de cabeça e pescoço; (b) Elevador poplíteo; (c) *Belly Board*, suporte para abdómen; (d) Suporte com elevação de braços. [38]

No tratamento de neoplasias na cabeça e pescoço e nos tratamentos de estereotáxica, os doentes são imobilizados, frequentemente, com máscaras individuais de material termoplástico, considerados sistemas de imobilização complexa. Estas máscaras quando aquecidas são moldadas ao corpo do doente, como se pode observar na Figura 3.3 (a). Apesar deste tipo de imobilização ser mais eficiente, tem a desvantagem de não poder ser reutilizado, o que o torna um método dispendioso. Este material termoplástico pode

também ser utilizado para fazer *frames*, muito utilizado em mamas muito volumosas e pendentes, e para suportes pélvicos, como está ilustrado na Figura 3.3 (b).

Outro sistema de imobilização muito utilizado, especialmente, em bebés e crianças é o colchão de vácuo, *vac-lock*. Tem as vantagens de moldar praticamente qualquer parte anatómica e poder ser reutilizável para outros doentes.

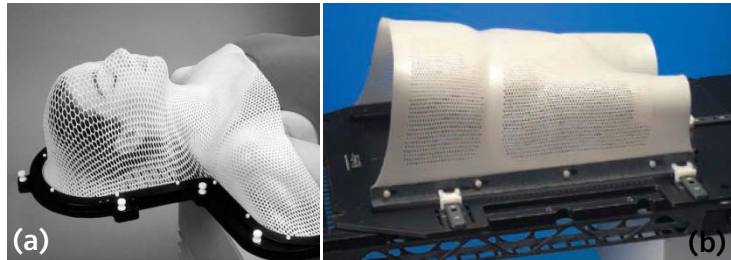


Figura 3.3 Exemplos de sistemas de imobilização complexa: (a) Máscara termoplástica; [28] (b) suporte pélvico termoplástico.

3.1.3 Aquisição de Imagens

Esta etapa do *workflow* de RT tem como finalidade adquirir imagens de CT, para realizar o planeamento 3D. As imagens de CT são adquiridas nas condições de posicionamento e imobilização que serão reproduzidas em todas as sessões de tratamento, com ou sem contraste.

Com recurso a um sistema de lasers externos de precisão, o doente é alinhado na posição correcta, sendo efectuadas visualizações para confirmar o seu posicionamento. Posteriormente, colocam-se referências cutâneas provisórias no doente em localizações estáveis. Após adquirir a primeira série de imagens axiais, o sistema determina automaticamente, ou manualmente, as coordenadas do isocentro de referência. As coordenadas são transferidas para o sistema de lasers móveis e é verificado o posicionamento, relativamente, às marcações provisórias iniciais. Por último, o doente é marcado definitivamente, ao nível do isocentro [39].

A CT de planeamento permite adquirir imagens anatómicas que servirão de suporte para o planeamento dosimétrico. Além de fornecer informação anatómica com excelente contraste dos tecidos moles, também fornece informação quantitativa sob a forma de números de *Hounsfield* ou números CT. A conversão da densidade electrónica em relação à água permite o cálculo de dose com correcção de heterogeneidade nos vários tecidos.

Adicionalmente, pode recorrer-se à fusão de imagem com outras modalidades imagiológicas, tais como, imagem por ressonância magnética (MRI, do inglês *Magnetic*

Resonance Imaging), PET e SPECT. Desta forma, é possível contornar a limitação da CT em obter imagens com bom contraste entre diferentes tecidos biológicos com densidade electrónica semelhante. No entanto, importa ressaltar que o cálculo de dose é sempre baseado na informação da CT, pois só a partir desta informação se consegue conhecer as densidades dos vários tecidos biológicos.

3.1.4 Delineamento de volumes

O médico especialista, uma vez disponíveis as imagens de CT, define os volumes a irradiar, bem como as respectivas doses. De acordo com as *guidelines* estabelecidas pela ICRU [12-14], o GTV, o CTV e o PTV devem ser devidamente contornados.

Para os tratamentos de IMRT, as *guidelines* da *American College of Radiology* (ACR) e da *American Society for Therapeutic Radiology and Oncology* (ASTRO) recomendam a utilização do planeamento inverso, sendo necessário delimitar para além dos volumes-alvo, os órgãos de risco indicando as respectivas restrições de dose limite e os factores de prioridade relativo [40]. Na Figura 3.4 encontra-se uma imagem de CT de planeamento de um tratamento da próstata, com contorno dos volumes-alvo e OAR (cada cor de contorno corresponde a uma dose).

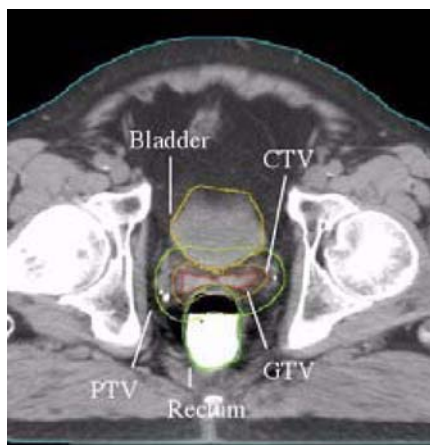


Figura 3.4 CT de planeamento de um doente com carcinoma da próstata, com o respectivo contorno das estruturas críticas (bexiga e recto) e dos volumes-alvo (CTV, PTV e GTV).

3.1.5 Dosimetria Clínica

Nesta etapa é definida a planificação dos feixes de irradiação e a distribuição dosimétrica de acordo com as características do tratamento de radioterapia.

Após o médico especialista em RT prescrever o tratamento, o físico qualificado em Física Médica e/ou o técnico dosimetrista, realiza(m) o planeamento recorrendo a um TPS. O

sistema de planeamento calcula para cada configuração de campos proposta, a distribuição de dose e sobrepõe-na às imagens de CT disponíveis para o caso clínico em estudo.

De acordo com as recomendações da ICRU-50 [12], a dose deve estar distribuída no volume-alvo de forma homogénea, não devendo a incerteza total ultrapassar -5% ou +7% da dose prescrita pelo médico. No que diz respeito às estruturas adjacentes, estas devem receber níveis de dose o mais baixo possível.

A avaliação do planeamento é efectuada com base na análise da distribuição em torno do PVT e dos OARs recorrendo a DVHs. A avaliação de um plano de IMRT requer mais trabalho do que na técnica 3D-CRT tradicional, dado que, a IMRT pode criar pontos frios ou quentes em locais inesperados, que não são facilmente detectados nos DVHs. A avaliação do plano de IMRT exige uma inspecção das distribuições de isodose em cada *slice* de imagem [41].

Concluído o estudo dosimétrico, o médico radioterapeuta, responsável pelo tratamento, irá aprovar o plano de tratamento após a avaliação de um conjunto de factores, tais como a uniformidade da dose e os limites de dose nos órgãos de risco.

3.1.6 Simulação

Esta é etapa clínica e técnica que tem como finalidade definir e/ou verificar no doente as condições de posicionamento e tratamento. Após importação dos planos de tratamento provenientes do sistema de planeamento, posiciona-se o doente, e reproduzem-se as condições do tratamento. Após realizar as respectivas verificações, marcam-se as portas de entrada dos feixes de irradiação na pele do doente [36].

De notar que, a simulação não é realizada aquando o doente na fase de aquisição de imagens CT, realiza a marcação da imagem de referência, com auxílio ao sistema de lasers móveis e o respectivo *software*.

3.1.7 Verificação do tratamento

Em ambas as modalidades, as MUs geradas a partir do sistema de planeamento devem ser verificadas recorrendo a um sistema independente de verificação, antes da primeira sessão de tratamento.

Em geral, o programa de CQ para a 3D-CRT baseia-se na avaliação do desempenho individual dos parâmetros do sistema único, não sendo necessário realizar CQ para cada doente, especificamente. Isto é, parte-se do pressuposto que quando o sistema está

devidamente conferido, as verificações periódicas de CQ vão garantir que todos os doentes são tratados com precisão, dentro dos limites e critérios estabelecidos [42].

Para IMRT, o programa de CQ tradicional não é suficiente. Isto porque, devido à complexidade da técnica, é muito difícil prever todos os problemas susceptíveis de acontecer, pois há pouca correlação entre as MUs e a dose entregue, em cada campo de intensidade modulada [31]. Portanto, para fins de controlo de qualidade das doses administradas, a realização de testes de verificação de dose absoluta e dose relativa do planeamento é uma exigência em IMRT.

A finalidade da dosimetria absoluta consiste em avaliar o desvio entre a dose administrada e a dose planeada num ponto, normalmente o isocentro, enquanto a dosimetria relativa tem como objectivo determinar a exactidão da distribuição de dose.

A verificação de dose relativa pode resultar da comparação do plano de dose obtido na irradiação de um campo de intensidade modelada do plano do doente num fantoma cúbico (sempre com o ângulo da *gantry* a 0°) com a imagem planar fornecida pelo EPID, após a sua irradiação segundo os parâmetros do tratamento do respectivo doente.

Também se deve comparar a distribuição de dose do plano (plano que é gerado pela aplicação do plano do doente numa CT de um fantoma geométrico, onde serão colocados os filmes/películas) com a distribuição de dose resultante da leitura de filmes/películas, depois de simular o tratamento do doente. Para ser considerada uma verificação de dose absoluta, a dose absorvida nos filmes/películas deve ser normalizada ao valor da dose acumulada no isocentro, obtido com a irradiação do plano com uma câmara de ionização calibrada.

Estes testes encontram-se devidamente protocolados, a fim de garantir a fiabilidade na execução do planeamento para cada doente. Este programa inclui verificações no pré-tratamento e periódicas, ao longo das várias semanas de duração do mesmo.

3.1.8 Tratamento diário

É nesta etapa que se realiza a irradiação do doente, de acordo com a planificação e a prescrição do tratamento, previamente, determinado e aceite pelo médico radioterapeuta. Cada tratamento divide-se em sessões, administradas cinco vezes por semana, com pequenas fracções de radiação (1.8Gy-2Gy), devendo ser fielmente reproduzidas [36].

Cada sessão de tratamento é dividida em 3 momentos distintos: (1) posicionamento do doente; (2) controlo de qualidade; e (3) irradiação do doente.

Em cada sessão do tratamento começa-se por colocar e alinhar o doente de acordo com o posicionamento e imobilização pré-definidas.

É recomendado que o controlo de qualidade do posicionamento seja realizado, por norma desde a primeira sessão de tratamento [36]. O EPID é um sistema de imagem portal através do qual se adquirem imagens digitais. Dependendo das características do EPID, é possível obter imagens portais 2D ou 3D. No primeiro caso, a imagem resulta de dois campos ortogonais (0° e 90°) e no segundo resulta da reconstrução 3D a partir da aquisição dinâmica em arco - *Cone-Beam CT*, que pode ser, directamente, comparada com a imagem de CT de planeamento [3].

Durante o período de tempo que decorre entre a fase de aquisição de imagens para o planeamento e o primeiro dia de tratamento, as condições podem não coincidir. À semelhança do que acontece entre o primeiro e último dia de tratamento, a localização, forma e fisiologia do tumor podem sofrer alterações em relação ao planeado. Com o *software* adequado, os desvios de posicionamento do doente são detectados e podem ser corrigidos à custa da determinação automática do vector de reposicionamento. Caso o vector desvio se encontre dentro das tolerâncias estabelecidas para cada patologia, o tratamento é realizado, caso contrário, o doente é reposicionado e o processo repetido.

A imagem portal pode também ser utilizada para visualizar marcas fiduciais, como por exemplo implantes de ouro, utilizados no cancro da próstata para facilitar a localização de estruturas moles difíceis de detectar neste tipo de imagem. Na prática esta é uma metodologia que incorpora o conceito de radioterapia guiada por imagem (IGRT, do inglês *Image Guided Radiotherapy*).

Ao longo das semanas de tratamento é realizada uma avaliação e um controlo da aplicação do tratamento. O radioterapeuta avalia a resposta e tolerância ao tratamento, e despista eventuais alterações no doente, ou outros parâmetros que possam interferir com a reprodutibilidade do mesmo. O manual de boas práticas de radioterapia [36] aconselha que, semanalmente, haja uma consulta clínica, onde se verifiquem eventuais modificações anatómicas do doente que possam interferir na reprodutibilidade do tratamento, a partir da avaliação das imagens portais.

Na IMRT é ainda recomendado que, após a primeira metade das sessões de tratamento seja realizada uma nova CT, de forma a comparar as distribuições de dose entre as duas e no caso de se justificar, é realizado um novo planeamento (as etapas de contorno de volumes e a dosimetria clínica).

3.1.9 *Follow up*

O objectivo primário do *follow up* clínico é a detecção e o tratamento da recidiva local e os efeitos adversos da terapêutica. No final de todo o processo de tratamento, o médico prescreve um plano de vigilância (agendamento de consultas, exames auxiliares de diagnostico, entre outros) que depende da neoplasia em causa.

3.2 Programa de controlo da qualidade

Num serviço de Radioterapia é impreterível a implementação de um Programa de Controle de Qualidade, coordenado por uma comissão multidisciplinar interna de garantia e controlo da qualidade em radioterapia [36]. A finalidade primordial deste programa é aferir se o desempenho de todos os equipamentos, dispositivos e processos não se afastam dos seus valores de referência, mais que as respectivas tolerâncias. Este factor é indispensável para garantia a reprodutibilidade do seu comportamento [43]. Contudo, este programa exige o envolvimento de todo o pessoal, equipamentos e procedimentos do *workflow* de RT. Desta forma, é fundamental que o programa não comprometa as actividades principais do tratamento do doente, dado que este processo requer consumo de tempo e recursos humanos e, na maioria das vezes, total acesso ao LINAC.

O Programa de Controle de Qualidade, como ilustra a Figura 3.5, deve incluir: (1) testes e provas de aceitação de equipamentos; (2) programa de manutenções preventivas dos equipamentos; (3) programa de CQ das etapas do *workflow*; e por último, (3) programa de CQ dos equipamentos [36]. Dado que, a modalidade de IMRT requer um nível de precisão e exactidão que superam as exigências de um planeamento e tratamento com uma técnica convencional, é necessário adicionar procedimentos específicos ao programa de Controlo da Qualidade *standard*. Como foi referido na secção 3.1.7, adicionalmente, é imprescindível a verificação do plano individual de tratamento (para cada doente), como aconselha a ACR e a ASTRO [40].

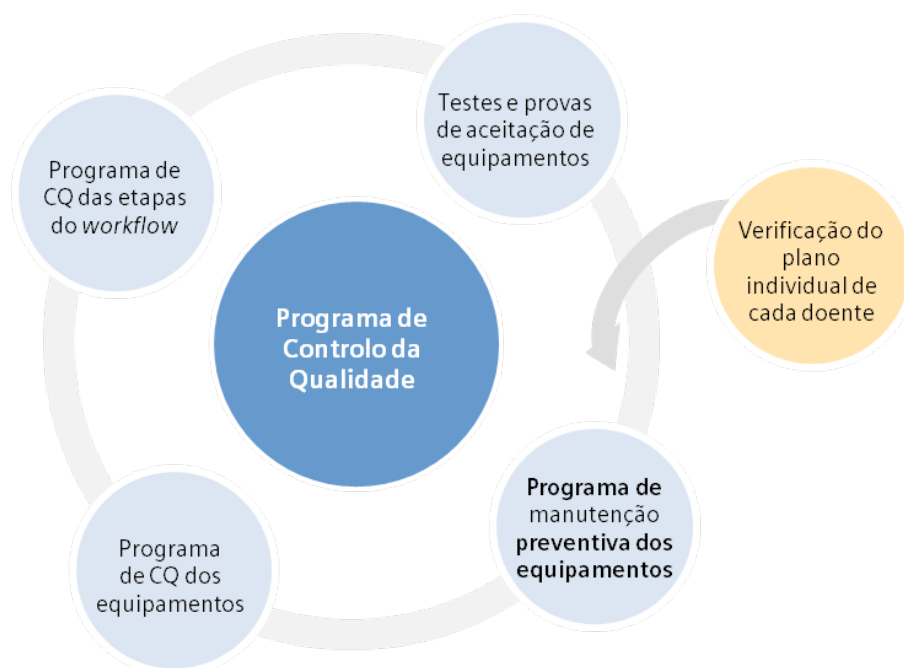


Figura 3.5 Esquema representativo do Programa de Controlo da Qualidade para IMRT.

A ICRU recomenda que a incerteza total de um tratamento de radioterapia não deve exceder -5% ou +7%, ou seja, cada fase do processo do tratamento do doente deve ter uma incerteza bem menor que esse valor. Ao se iniciar a utilização de um novo equipamento ou procedimento, depois de concluídos os testes de aceitação, é necessário estabelecer, por testes de comissionamento, os dados que se tornarão referência para posteriores controlos de qualidade, durante a vida útil do equipamento. Esses dados serão a referência para a análise do desempenho dos equipamentos e dispositivos.

3.3 Recursos Humanos intervenientes no *workflow* RT

A radioterapia é um processo terapêutico complexo que envolve uma equipa multidisciplinar constituída por enfermeiros, técnicos de radioterapia, físicos qualificados em Física Médica e médicos especialista em Radioterapia. Importa ressaltar ainda que existem outros profissionais de saúde intervenientes como: administrativo, dietista ou nutricionista, assistente social e auxiliar de acção médica. Estes profissionais de saúde inserem-se num fluxo de trabalho transversal ao Serviço de Radioterapia, tendo que estar disponíveis sempre que o doente necessite de algum cuidado de saúde.

No Anexo 2 encontram-se algumas considerações relativas às competências, responsabilidades e qualificações dos recursos humanos (RH) intervenientes em todo o processo de radioterapia. Para tal, procedeu-se a uma análise detalhada de protocolos e *guidelines* nacionais e internacionais, visando as melhores práticas e a adaptação à realidade nacional. Na Tabela 3.1 encontra-se a alocação dos RH às respectivas etapas técnicas e clínicas do *workflow* já descritas na Secção 4.1.

Tabela 3.1 Recursos Humanos intervenientes em cada procedimento do *workflow* de EBRT, e respectivo responsável.

Procedimento	RH intervenientes	Responsável do procedimento
Avaliação Clínica	Médico Radioterapeuta Enfermeiro*	Médico Radioterapeuta
Imobilização	Técnico de Radioterapia	Médico Radioterapeuta
Aquisição de imagens	Médico Radioterapeuta Técnico de Radioterapia	Médico Radioterapeuta
Delineamento de volumes	Médico Radioterapeuta	Médico Radioterapeuta
Dosimetria Clínica	Dosimetrista Físico Médico (IMRT)	Médico Radioterapeuta
Simulação	Médico Radioterapeuta Técnico de Radioterapia	Médico Radioterapeuta
Verificação do tratamento	Físico Médico	Médico Radioterapeuta
Tratamento diário	Técnico de Radioterapia	Técnico de Radioterapia
<i>Follow up</i>	Médico Radioterapeuta	Médico Radioterapeuta

*Depende da instituição

3.3.1 Requisitos mínimos de pessoal para um serviço de Radioterapia

Os requisitos mínimos de pessoal num serviço de Radioterapia dependem, essencialmente, do número de doentes tratados anualmente, dos programas de ensino e investigação adoptados, e da complexidade e sofisticação dos tratamentos oferecidos no departamento.

É essencial manter o equilíbrio da carga de trabalho do serviço. A falta de pessoal, bem como a inadequada combinação de competências, experiência e supervisão foram destacados no Reino Unido como os factores que contribuíram para uma série de incidentes relatados em RT relatados ao Ministério da Saúde [44]. Como resposta a estes casos o relatório *Towards safer radiotherapy* [45], recomenda que cada departamento de RT reveja o número de pessoal em intervalos inferiores a dois anos, de forma a cumprir as recomendações da legislação do Reino Unido. O número inadequado de pessoal tem como consequências o aumento do tempo de espera para o tratamento, comprometendo a probabilidade de sobrevivência do doente [44].

Na Tabela 3.2 encontram-se ilustradas algumas diferenças entre as recomendações do número de RH de um departamento de RT na legislação Belga (1998), e as recomendações dos USA, publicadas em 1991, no *Blue Book* [46]. Estas diferenças impõem, à partida, um aumento do número de profissionais de saúde, assim como uma diminuição do número de doentes por unidade de tratamento nos USA, em comparação com as regras Belgas [47].

Em 1991, o *Blue Book* [46] recomendou um físico médico por serviço de RT, para um rácio de 400 doentes/ano. Contudo, esta recomendação apenas contemplava o serviço clínico, isto é, não incluía funções de investigação, nem administrativas [46].

Actualmente, são necessários físicos adicionais para os procedimentos de controlo e garantia de qualidade para os equipamentos de imagem montados nos LINAC (cone-beam computer tomography system, EPID). O número de físicos tem em conta a complexidade e sofisticação dos tratamentos oferecidos no centro (IMRT, IGRT, tomoterapia, braquiterapia, radiocirurgia estereotáxica, entre outros) [48].

No que diz respeito ao técnico de radioterapia, o *Blue Book* (1991) recomenda um técnico dosimetrista por cada 300 doentes tratados anualmente. Este número aparenta ainda ser válido, no entanto, em algumas instituições os técnicos dosimetrista não possuem, exclusivamente, funções de planeamento do tratamento, participando também nos testes de CQ e nalguns casos, em simulações [49].

O médico é, do ponto de vista económico, o recurso humano mais dispendioso, logo, em virtude da sua escassez, é necessário proceder a uma criteriosa análise do seu fluxo de trabalho e delinear eventuais alterações ou tendências futuras.

Tabela 3.2. Comparação das recomendações do número de RH mínimo, de um departamento de RT, entre a legislação Belga e o *Blue Book* dos USA. Adaptado de [46],[47]

Recomendações:	Bélgica Normas de acreditação de departamentos de RT, 1998	USA Blue Book, 1991
	N. ° de RH / [N.º de doentes tratados/unidade de tempo]	
Equipamento		
LINAC	1/[500 doentes/ano]	1/[200-250 doentes/ano]
Simulador	1/[1250 doentes/ano]	1/[500-750 doentes/ano]
Recursos Humanos		
Director de Serviço	1/Departamento	1/ Departamento
Médico Radioterapeuta	1/[200-250 doentes/ano]	1/[200-250 doentes/ano]*
Médico de Clínica Geral	1/[750 doentes/ano]	1/[500 doentes/ano]
Técnico Supervisor	-	1/ Departamento
Planeamento		
Técnico Dosimetrista	-	1/[300 doentes/ano]
Tratamento		
Técnico de Radioterapia	2/[30 doentes/dia] / LINAC 3/[>30 doentes/dia] / LINAC	2/[25 doentes/dia] / LINAC 4/[50 doentes/dia] / LINAC
Simulação		
Técnico de Radioterapia	2/[500 doentes/ano] 3/[>500 doentes/ano]	2/[500 doentes/ano]

* Um médico radioterapeuta nunca deve acompanhar mais do que 25-30 doentes em tratamento em simultâneo.

É necessário mais pessoal adicional para contemplar actividades de investigação, ensino e administrativas, que decorrem no departamento.

3.4 Duração dos principais procedimentos técnicos e clínicos

Nesta subsecção analisaram-se os principais estudos bibliográficos relacionados com a duração temporal das diversas etapas que constituem o *workflow* de RT, nas técnicas de 3D-CRT e IMRT.

De salientar que o tempo de realização de uma etapa constitui já por si uma variável crítica. Caso este seja maior que o previsto, pode prejudicar todo o serviço, causando, uma menor produção do mesmo e, conseqüentemente, provocando insatisfação nos doentes. A experiência dos profissionais de saúde e o comportamento do doente (grau

de mobilidade, atraso, personalidade) são alguns exemplos de factores que interferem, diariamente, na variável *tempo*.

De referir que se deu particular relevância às modalidades de 3D-CRT e IMRT adoptadas nos estudos. Apenas se consideraram os estudos que utilizaram LINACs com MLC no IMRT, em particular os LINACs em modo estático, uma vez que a comparação de estudos com recurso a equipamentos e tecnologias distintas das do caso de estudo é inaceitável.

Um dos principais estudos apresentados por Murthy *et al.* [50] compara os tempos dos encargos efectivos dos recursos humanos nas técnicas de alta precisão C&P, para IMRT e 3D-CRT. O ensaio clínico foi realizado no Serviço de Radioterapia do Hospital Tata Memorial, em Mumbai, na Índia. O LINAC utilizado foi um Siemens Primus, para uma população de 20 doentes. Dos 20 doentes, 12 foram submetidos à técnica de IMRT e os restantes 8 foram submetidos a 3D-CRT. Todo o processo de RT foi dividido em etapas bem definidas, onde foram alocados os recursos humanos intervenientes e contabilizado a duração de cada etapa para 3D-CRT e IMRT, respectivamente [50].

A prescrição dos tratamentos de 3D-CRT fora realizada em duas fases distintas: a fase I foi de 60 Gy em 30 fracções e fase II foi um *boost* (sobreimpressão de dose) de 10 Gy em 5 fracções, com 7-9 campos coplanares. Os tratamentos de IMRT foram realizados numa única fase, utilizando em simultâneo a técnica do *boost* integrado, com uma dose de aproximadamente 66 Gy em 30 fracções. Radiobiologicamente, as doses em ambos os tratamentos são equivalentes [50].

Na Tabela 3.3 encontram-se os resultados do estudo de Murthy *et al.*, onde este concluiu que a técnica IMRT consome mais tempo e, conseqüentemente, mais recursos humanos do que a 3D-CRT. A principal diferença encontra-se na duração da irradiação do doente, inerente à técnica de IMRT adoptada *step-and-shoot* e também à etapa de garantia e controlo de qualidade do tratamento, associada unicamente ao processo IMRT.

Tabela 3.3. Duração das etapas do *workflow* de RT para 3D-CRT e IMRT, respectivamente, para neoplasia de C&P. Adaptado de [50]

Procedimentos	3D-CRT Mediana do tempo (minutos)	IMRT Mediana do tempo (minutos)
Máscara de imobilização	16.0	15.0
CT de planeamento	16.0	16.0
Contorno	187.5	224.0
Aprovação/revisão do contorno	87.5	108.2
Planeamento	312.0	325.6
Aprovação/revisão do planeamento	112.5	117.4
Simulação*	49.0	20.0
CQ	-	99.4
Tratamento Diário	15.2	27.8
Tratamento total (número total de fascções)	534.5	834.0
Duração do processo completo	1496.5	1791.0

* 3D-CRT realizou 2 sessões de simulação, enquanto IMRT apenas realizou 1 sessão.

O estudo de Adams *et al.* [51] embora com o objectivo de comparar a implementação clínica de duas técnicas de IMRT com MLC, também realizou um levantamento da duração das principais etapas do *workflow*.

O estudo foi realizado no *The Royal Marsden*, em *Surrey*, Inglaterra, com uma população de 14 doentes com neoplasia da próstata com doença nodal conhecida ou com elevado risco de micro-metástases. Entre estes cinco doentes realizaram IMRT em modo estático, com recurso a um Elekta SL15 (Elekta, Crawley, Surrey, UK) e um sistema de planeamento (Helax-TMS, MDS Nordion, High Wycombe, Buks, UK). O tratamento consistiu em 5 campos coplanares, com 10 níveis de intensidade e com 15 segmentos por feixe [51]. Os resultados da duração das principais etapas foram sintetizados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 Duração das etapas do *workflow* IMRT com MLC em modo estático, para neoplasia da próstata em estado avançado.

Etapa do Procedimento	IMRT (minutos)
Planeamento	5-10
Optimização do planeamento	40-60
Importação do planeamento	~50
Verificação do planeamento	10-15
CQ	40
Tratamento Diário	24

O estudo de Van de Werf *et al.* [52] realizado no Departamento de Radioterapia do Hospital Universitário de Leuven, na Bélgica, apresenta alguns dados interessantes relativos ao tempo e custo de um tratamento de IMRT comparativamente com um tratamento de 3D-CRT [53]. O estudo foi realizado com doentes com neoplasia da C&P e de próstata o LINAC utilizado foi o Clinac 2100 (Varian Medical Systems, CA, USA) equipado com imagem EPID.

Na Tabela 3.5 encontram-se alguns dos resultados do estudo, onde se conclui que, a média do tempo extra para realizar IMRT ao invés de CRT é de 2,8 minutos, excluindo a influência do EPID, que corresponde a um aumento de 27% do tempo de tratamento por fracção. A média do tempo extra necessário para realizar EPID é de 5,7 minutos, excluindo a influência do IMRT [52]. O desempenho incorrecto do doente pode contribuir com um aumento médio 3,6 minutos, seja pelo mau grau de mobilidade ou mesmo por não se manter imóvel durante a irradiação [52].

Tabela 3.5 Média e mediana do tempo de tratamento por sessão de acordo com os diferentes parâmetros. Adaptado de [52]

Parametros do tratamento	N.º de sessões	Média do tempo (minutos)	Mediana do tempo (minutos)
Técnica do tratamento			
IMRT	59	15.1	12.0
IMRT 5-7 campos	51	13.6	12.0
IMRT 9-14 campos	8	25.5	25.5
IMRT sem EPID	26	12.2	10.5
IMRT com EPID	33	17.3	14.0
CRT	265	10.9	10.0
CRT sem EPID	179	8.8	8.0
CRT com EPID	86	15.1	14.0
Performance do doente			
Boa performance	300	11.4	5.8
Má performance	24	15.0	6.1

Das *et al.* [54] conduziram um estudo no *American College of Radiology*, com o objectivo de quantificar o tempo necessário para os médicos, físicos e dosimetristas realizarem um processo de planeamento de IMRT (apenas contabilizando o tempo dispendido no TPS), para as patologias neoplásicas de C&P, próstata e pulmão, respectivamente. Este estudo consistiu num questionário, que foi enviado electronicamente para 200 instituições dos USA posteriormente, foi realizada a análise dos dados em função do TPS utilizado, assim como da patologia. Na Tabela 3.6 apresentam-se alguns dos resultados deste estudo.

Tabela 3.6 Tempos médios de planeamento, contorno e tratamento para as neoplasias da C&P, próstata e pulmão, respectivamente.

Tarefas	C&P	Próstata	Pulmão
Média do tempo dispendido pelo médico no processo de planeamento do tratamento	18 horas	8 horas	7 horas
Média do tempo médio dispendido no contorno e no processamento das imagens de planeamento		3 horas	
Tempo médio do planeamento total	30 horas	14 horas	15 horas

3.5 Custos na Radioterapia

De uma forma simplificada, o custo de um programa de tratamento de radioterapia é dividido pelo número de sessões, resultando um custo de produção por sessão. No entanto, o estudo de Dunscombe *et al.* [55] concluiu que apenas 40% dos custos decorrem da fase de tratamento. Os restantes 60% correspondem à avaliação clínica, planeamento e ao acompanhamento durante todo o processo de tratamento.

Os modelos de cálculo de custos para RT disponíveis em bibliografia, mostram que os custos salariais são a componente mais determinante dos custos da RT, devido à elevada carga de trabalho dos profissionais de saúde [47],[56],[52],[57]. Como resultado os custos do tratamento RT são essencialmente determinados pelo tempo total do tratamento, resultado do consumo dos recursos humanos e tecnológicos [52].

Actualmente, os elevados padrões de qualidade na RT são obtidos pelas técnicas de tratamento sofisticadas e também devido ao aumento do controlo e da garantia de qualidade dos mesmos. Por outro lado, estas mudanças resultaram, inevitavelmente, no aumento do tempo de tratamento e custos associados. Contudo, ainda não existem muitos estudos que revelem o verdadeiro impacto destas alterações nos custos da RT [52].

Um dos modelos mais utilizado para o cálculo de custos foi desenvolvido por Lievens *et al.* [57] no Departamento de Radioterapia do Hospital Universitário de *Leuven*, na Bélgica, em 2000. Devido à utilização de uma metodologia baseada na *Activity-Based Costing* (ABC), o tempo consumido nas diferentes actividades do processo de RT é um dos principais pilares do modelo. O modelo ABC resume-se a um sistema de contabilidade que aloca os custos dos recursos para um determinado produto, com base no consumo de actividade.

As diferentes etapas que definem o modelo ABC estão esquematicamente representadas na Tabela 3.7.

Tabela 3.7. Distribuições de custos de recursos e de grupos de actividade, da aplicação do modelo de custos ABC no Departamento de Radioterapia de *Leuven*. Adaptado de [57]

Distribuição de custos	%
a. Distribuição de custos de recursos	
Custos salariais	52.06
Custos de equipamento	28.48
Custos de espaço	4.71
Custos de materiais	2.24
Custos fixos do hospital	12.51
<i>Total</i>	100.00
b. Distribuição de custos de grupos de actividade	
Actividades relacionadas com o tratamento	71.81
Preparação do tratamento:	22.42
Simulação	8.67
Planeamento	8.26
Controlo e Garantia de Qualidade (CQ)	5.19
Administração	4.85
Entrega de Tratamento	39.35
Cuidados relacionados com as actividades de apoio	7.73
Cuidados não relacionados com as actividades de apoio	13.76
Actividades que não envolvem EBRT	6.70
<i>Total</i>	100.00

O trabalho desenvolvido por Lievens *et al.*, em 2007, foi continuado por Van de Werf *et al.* [52]. Van de Werf *et al.* para além de analisar a média do tempo de tratamento por fracção, realizou também uma análise de sensibilidade para os custos do tratamento de IMRT da neoplasia da C&P e da neoplasia da próstata. O estudo teve como base o modelo ABC, aplicado no ano de 2000 no Departamento de Radioterapia de *Leuven*, no entanto, considerando agora, o aumento significativo do tempo de tratamento por fracção provocado pela implementação diária do IMRT na clínica, assim como, da imagem EPID.

Neste estudo estimou-se que realizar IMRT, em vez de 3D-CRT aumenta o custo do tratamento em cerca de 28% para o carcinoma da próstata e 32% para a neoplasia de C&P. Contudo, este aumento pode ser ainda superior se para além de realizar IMRT, também se recorrer à imagem EPID diariamente (84% e 73% para a próstata e C&P, respectivamente).

Associado à crescente exigência na precisão e fiabilidade das novas técnicas de RT, os protocolos de garantia e controlo da qualidade na dosimetria *in-vivo* tendem a ser mais

rigorosos, tendo impacto directo nos procedimentos de CQ e consequentemente, nos custos da radioterapia. Malicki *et al.* [58], director do Grande Centro de Cancro da Polónia, avaliou a relação custo-eficácia do protocolo de garantia de qualidade no seu departamento, num estudo que decorreu entre 2001 e 2005. Foram analisados 6844 doentes, com tumores de C&P, mama, pélvis e pulmão. A qualidade da radioterapia foi expressa como a exactidão da entrega da dose e o custo foi estimado a partir da carga de trabalho, dos equipamentos e materiais utilizados. O protocolo de CQ, aumentou a qualidade do tratamento, visto que, a média das variações entre a dose medida e a dose calculada reduziram de -1.5% para 0.5%, 3.4% para 1.4%, 3.9% para 0.1%, e por último, de -2.1% para 1.8% para as neoplasias da C&P, mama, pélvis e pulmão, respectivamente. Por sua vez, o custo mensal aumentou de 4 376€ para 10 696€, sendo que a componente crucial deste aumento foi o aumento da carga de trabalho do físico.

3.6 IMRT no tratamento do carcinoma da próstata

Tende em conta que o estudo incide sobre a neoplasia da próstata, dever-se-á introduzir alguns conceitos sobre esta patologia.

O cancro da próstata é uma doença predominantemente do homem idoso e o seu tratamento é geralmente eficaz, sobretudo nas situações de doença localizada. Tem havido nos últimos anos uma evolução importante no diagnóstico e na terapêutica desta doença, com uma melhoria no seu controlo local, reflectindo-se de forma significativa na sobrevida dos doentes.

As terapêuticas mais utilizadas no tratamento desta neoplasia são: (1) Prostatectomia radical (cirurgia para remoção total da próstata e estruturas em redor); (2) EBRT, que inclui a RT convencional, a 3D-CRT e a IMRT; (3) Braquiterapia; (4) Terapia de supressão andrógena (ADT). A finalidade do tratamento é prevenir a morte e a incapacidade, minimizando as complicações relacionadas com as intervenções [59].

Nos doentes com cancro da próstata clinicamente localizado, a radioterapia ou a cirurgia radical são as terapêuticas primárias consideradas apropriadas e eficazes. No entanto, a EBRT da neoplasia da próstata tem demonstrado vantagens distintas, em comparação com as terapias cirúrgicas. A RT evita complicações associadas à cirurgia, tais como hemorragias, transfusões de sangue, riscos associados à anestesia [60]. Tanto a 3D-CRT como a IMRT são técnicas, que estão aconselhadas para uma larga gama de idades [60] visto que, a EBRT inclui um risco muito baixo de incontinência urinária, estenoses e preserva a curto prazo a função erétil [61],[62].

As desvantagens da utilização da EBRT, advêm do tempo de aplicação do tratamento ser demasiado longo, de duração aproximada 8 a 9 semanas, bem como do facto de 50% dos doentes sofrerem de alguns sintomas temporários ao nível da bexiga e do intestino, existindo um risco baixo, mas definitivo do doente desenvolver sintomas de prolapso rectal provocado pela radiação. Adicionalmente, o risco de disfunção eréctil aumenta ao longo do tempo [61],[63] .

A combinação dos resultados da concentração sanguínea do antigénico específico da próstata³ (PSA, do inglês *Prostate-Specific Antigen*), do estadiamento clínico⁴ e do grau histológico do tumor⁵ (*score de Gleason*) permite estratificar os doentes em categorias associadas a diferentes tipos de probabilidades: (1) risco de propagação microscópica do tumor; (2) o risco de recorrência e a (3) probabilidade de sucesso da terapia local. A estratificação de risco mais utilizada é o apresentado pela *National Comprehensive Cancer Network* (NCCN), que se encontra simplificado na Tabela 3.8.

³ O PSA é uma glicoproteína produzida na sua maioria pelas células do epitélio ductal da próstata. Para fins práticos, o PSA é considerado órgão-específico, pois os seus valores aumentados podem estar associados a tumores benignos e malignos.

⁴ O estadiamento clínico do tumor, geralmente, é baseado na classificação *Tumor, Nodes, Metastasis* (TNM) 2002 da *American Joint Committee on Cancer* (AJCC). O sistema TNM, na sua revisão de 2010, compila informação referente à extensão local da doença (T), bem como ao compromisso metastático de gânglios linfáticos (N) ou órgãos distantes (M). A tabela respectiva está presente no Anexo 3.

⁵ O grau histológico pode ser expresso por meio da *score de Gleason*, que se baseia no exame das amostras teciduais da próstata, de vesículas seminais e estruturas adjacentes e quando relevante dos nódulos linfáticos pélvicos, atribuindo a pontuação entre 2 a 10.

Tabela 3.8 Estratificação de risco sugerida nas *guidelines* do *National Comprehensive Cancer Network* e a respectiva terapia recomendada de acordo com a esperança média de vida do doente.

Nível de Risco da doença	Parâmetros	Opções terapêuticas recomendadas pela NCCN, de acordo com a esperança média de vida do doente.
Baixo Risco	T1-T2a	<ul style="list-style-type: none"> • Doentes com esperança de vida ≤ 5 anos: Vigilância
	Gleason: 2-6 PSA < 10 ng/mL	<ul style="list-style-type: none"> • Doentes com esperança de vida <10 anos: Vigilância <u>ou</u> EBRT (3D-CRT/IMRT) • Doentes com esperança média de vida ≥ 10 anos: Prostatectomia radical <u>ou</u> RT (3D-CRT/IMRT ou braquiterapia) – dose recomendada: 75,6-79Gy.
Risco Intermédio	T2b-T2c <u>ou</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Doentes com esperança de vida ≤ 5 anos: Vigilância
	Gleason : 7 <u>ou</u> PSA 10-20 ng/mL	<ul style="list-style-type: none"> • Doentes com esperança de vida <10 anos: RT (3D-CRT/IMRT com/sem braquiterapia) • Doentes com esperança de vida ≥ 10 anos: Prostatectomia radical <u>ou</u> RT (3D-CRT/IMRT com/sem braquiterapia) – dose recomendada: 78-80Gy.
Risco Elevado	T3a <u>ou</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Doentes com esperança de vida 5-10 anos: Gleason (4 ou 5) – Vigilância
	Gleason: 8-10 <u>ou</u> PSA > 20 ng/mL	<ul style="list-style-type: none"> • Doentes com esperança de vida ≥ 5 anos: Prostatectomia radical com remoção dos nódulos linfáticos; 3D-CRT/IMRT associada a terapia hormonal, durante 2-3 anos – escalamento de dose recomendada: 78-80+ Gy.
Muito alto risco	T3b –T4 <u>ou</u> Associação dos factores de alto risco	Bloqueio de androgénico 3D-CRT/IMRT associada supressão de andrógenos durante 2-3 anos

Como se pode observar na Tabela 3.8, a EBRT, mais precisamente a IMRT constitui uma alternativa terapêutica válida para os quatro grupos de risco. Existe uma evidência clínica que doentes com baixo risco de recidiva não beneficiam de altas doses. Os doentes de risco intermédio devem ser tratados com altas doses, pois a sobrevida livre de recidiva bioquímica melhora significativamente [62]. Já nos doentes de alto risco não existe consenso nas diferentes comunidades científicas [59], apesar de a NCCN defender doses entre 78-80Gy.

O volume a irradiar pode variar de acordo com o estágio do tumor, o grau de *Gleason* e o valor do PSA. Para doentes com características de baixo risco, o volume a irradiar pode ser limitado à próstata, apenas com uma margem de 1 cm, pois a probabilidade de extensão do tumor para além dessa área é baixa. Para os doentes num grupo intermediário, as vesículas seminais são, frequentemente, incluídas no volume alvo. Para os doentes com doença de alto risco, o tratamento de escolha é o EBRT, sendo que a inclusão de linfonodos pélvicos é controverso.

Existem inúmeros estudos que têm demonstrado uma relação entre a dose de radiação e a resposta bioquímica, para cancro da próstata clinicamente localizado [64]. Os doentes inseridos em todos os grupos de risco que são irradiados com altas doses têm maior sobrevida livre de recidiva bioquímica [65].

Alguns trabalhos sugerem que é necessário irradiar o tumor com uma dose mínima de 78Gy para atingir o controlo tumoral óptimo [66]. Contudo, doses elevadas, também, aumentam significativamente, o risco de danos nos tecidos saudáveis, especialmente, na bexiga, intestino e tecidos erécteis, potenciando o risco de morbilidade a longo prazo. Ao melhorar a conformidade dos campos de radiação, a IMRT permite minimizar a dose nos tecidos saudáveis circundantes. Simultaneamente, a modulação da intensidade do feixe constitui um meio para alcançar o escalamento de doses ao tumor [67], possibilitando atingir doses superiores às de 3D-CRT.

No tratamento de cancro da próstata localizado, um planeamento típico de 3D-CRT geralmente consiste num arranjo de 4 campos, com largas margens de segurança, de forma a garantir a cobertura da próstata. As doses são limitadas a 66-70Gy devido ao volume que o intestino e a bexiga ocupam no campo de tratamento [65]. Nos tratamentos de IMRT a dose total prescrita pode variar dos 75-80Gy, em 36-41 sessões, confinada ao volume alvo. Contudo, as *guidelines* do NCCN [60] recomendam a utilização diária de IGRT para doses superiores a 78Gy, de forma a reduzir as margens do volume alvo. As técnicas de imagem incluem: ultra-sons (US), implantes fiduciais, *tracking* electromagnético, ou balão endorectal.

3.6.1 Follow up

O seguimento de doentes portadores de cancro da próstata pode ser diferente de acordo com a situação clínica e o objectivo que se pretenda [68]. De um modo geral, o nível sérico do PSA, juntamente com a histórica específica da doença e complementado

pelo toque rectal, são os pilares do acompanhamento do doente. Ao contrário de outras patologias, não se recomenda a realização de exames imagiológicos de rotina em doentes estáveis, apenas devendo ser efectuado em situações específicas [62].

Nos doentes tratados com radioterapia radical, a concentração do PSA desce mais lentamente do que no tratamento cirúrgico, podendo demorar três ou mais anos a atingir um valor nadir (valor mais baixo) óptimo (0,5ng/ml) [68]. De acordo com as recomendações da *American Society for Therapeutic Radiology and Oncology* (ASTRO) (1996), três subidas sucessivas acima do valor mínimo alcançado significa recorrência da doença. Recentemente, a nova conferência de consenso da *Radiation Therapy Oncology Group* (RTOG) - ASTRO definiu falência da RT, isto é recidiva bioquímica, como subida de 2ng/ml de PSA acima do nadir.

3.6.2 Toxicidade

Os principais efeitos adversos da radioterapia resultam dos efeitos da radiação nos tecidos adjacentes aos órgãos gastrointestinais (GI), geniturinários (GU) e sexuais. Os efeitos da toxicidade são classificados como agudos, quando ocorrem até 90 dias após o início do tratamento, após 90 dias do fim da terapia, são considerados efeitos tardios. O grau da toxicidade é atribuído de acordo com uma escala de toxicidades.

Realizou-se uma revisão de estudos clínicos com o objectivo de avaliar os benefícios clínicos da IMRT comparada com a 3D-CRT, tanto em relação à sobrevida da doença, como em relação aos efeitos adversos da terapia e qualidade de vida do doente.

A grande maioria dos estudos clínicos realizados nos últimos 10 anos foram efectuados nos Estados Unidos [64], [69], [70], [71] onde o IMRT no tratamento do cancro da próstata localizado já se encontra na prática clínica na maioria dos centros de RT. Apesar da heterogeneidade clínica dos diferentes estudos analisados, e dos diferentes períodos de *follow up* considerados, foi possível identificar uma redução estatisticamente significativa dos efeitos tóxicos gastrointestinais tardios incidentes nos doentes submetidos a IMRT.

A Tabela 3.9 resume as evidências sobre a toxicidade tardia e a impotência sexual.

Tabela 3.9 Revisão sistemática de estudos clínicos comparativos: toxicidade tardia e impotência sexual, nas técnicas de 3D-CRT e IMRT, para doentes com cancro da próstata.

	Toxicidade GI tardia Nível ≥ 2	Toxicidade GU tardia Nível ≥ 2	Impotência Sexual
3D-CRT 75-79 Gy	37% (Al-Mamgani et al.[72], 2009)	8% (Kirichenko et al. [70], 2006)	28% (D'Amico et al. [71], 2004)
	21% (Michalski et al. [73], 2005)	45% (Al-Mamgani et al.[72], 2009)	
	16% (Skwarchuk et al. 2000)	23% (Jani et al. [76], 2007)	
	15 % (Ashman et al. [74], 2005)	17 % (Ashman et al. [74], 2005)	
	14% (Zelevsky et al. [75], 2001)	13% (Zelevsky et al. [75], 2001)	
	13% (Zelevsky et al.[69], 2008)	12% (Zelevsky et al.[69], 2008)	
	13% (Schultheiss et al. 1997)		
	12% (Jani et al. [76], 2007)		
	10% (Zelevsky et al. [77], 2000)		
	10% (Kirichenko et al. [70], 2006)		
IMRT 75-81Gy	6% (Kirichenko et al. [70] 2006)	6% (Kirichenko et al. [70] 2006)	49% (Zelevsky et al. [80], 2006)
	6% (Jani et al. [76], 2007)	43% (Al-Mamgani et al.[72] 2009)	48% (Zelevsky et al. [78], 2002)
	5% (Zelevsky et al.[69], 2008)	4% (Zelevsky et al. [75], 2001)	
	4% (Zelevsky et al. [78], 2002)	23% (Jani et al. [76], 2007)	
	4% (Cahlon et al.[79], 2007)	20% (Zelevsky et al.[69], 2008)	
	21% (Al-Mamgani et al.[72] 2009)	15% (Zelevsky et al. [78], 2002)	
	2% (Zelevsky et al. [80], 2006)	15% (Cahlon et al.[79], 2007)	
	2% (Zelevsky et al. [75], 2001)	0 % (Ashman et al. [74], 2005)	
	0 % (Ashman et al. [74], 2005)		

Seguidamente vão ser apresentados dois importantes estudos sobre a temática abordada. Um destes estudos foi apresentado no 48º encontro anual da ASTRO em 2006. Foi o trabalho realizado por Kirichenko et al. [70] no *Fox Chase Cancer Center*, em Filadélfia. O estudo comparou a morbilidade resultante do tratamento do cancro da próstata, entre as modalidades de IMRT e de 3D-CRT. O primeiro grupo de 928 doentes fora tratado entre 1995 e 2001, seguindo-se um segundo grupo de 482 doentes, que foi tratado com IMRT nos anos seguintes, até 2004. A dose prescrita para o tratamento de IMRT variou entre 74-78Gy, enquanto que na 3D-CRT a mediana de dose submetida

foi de 72Gy. Os doentes tiveram um *follow up* mediano de 63.3 meses e 29.9 meses para a 3D-CRT e para a IMRT, respectivamente.

Os resultados deste estudo demonstraram que a curto prazo não houve diferença nos relatos dos efeitos colaterais GI e GU, nas duas modalidades. Contudo, após 3 anos 6.2% dos doentes tratados com IMRT sofriam de efeitos colaterais GI, em comparação com os 10.4% dos doentes tratados com 3D-CRT. Relativamente à toxicidade GU tardia, o estudo demonstrou que apesar de o IMRT ter tido menor incidência (8.4% vs. 5.7%), a diferença não foi estatisticamente significativa.

O outro estudo foi um dos maiores realizados com doentes com cancro da próstata clinicamente localizado foi realizado no *Memorial Sloan-Kettering Cancer Center*, em Nova York. Este estudo de Zelefsky *et al.* [69] teve como finalidade prever a toxicidade, após 10 anos de tratamentos com 3D-CRT e IMRT. Entre Abril de 1988 e Janeiro de 2000, 1571 doentes, com idade mediana de 69 anos (com uma variância de [46 a 86] anos) foram tratados com 3D-CRT e IMRT. Os 741 doentes tratados com IMRT, receberam níveis de dose de 81 Gy, sendo que, a mediana do *follow up* foi de 6.5 anos. A prescrição de dose dos restantes doentes que realizaram 3D-CRT, variou de 66 a 75.6Gy, a mediana do *follow up* considerada foi de 10 anos.

A toxicidade rectal aguda foi registada em 3% dos doentes tratados com IMRT, ao invés do 1% dos doentes tratados com RT convencional. Verificou-se, ainda, que os sintomas da toxicidade GI aguda tiveram mais expressão do que os sintomas rectais, sendo mais frequentes nos doentes que realizaram IMRT (37% vs. 22%).

Relativamente aos efeitos tardios, observou-se que a utilização da IMRT reduziu, significativamente o risco de toxicidade GI tardia, em comparação com a 3D-CRT (de 13% para 5%). Ainda assim, verificou-se que doentes que manifestaram sintomas de toxicidade GI aguda sofreram um aumento da probabilidade de desenvolver toxicidade rectal tardia, a incidência foi de 42% comparado com os 9%, que não experienciaram toxicidade GI aguda.

Quanto à toxicidade GU tardia, os doentes submetidos a IMRT tiveram 20% de incidência, enquanto que apenas 12% dos doentes de 3D-CRT é que manifestaram sintomas após os respectivos períodos de *follow up*. A presença de toxicidade GU aguda tem uma grande influência a longo prazo, pois 35% dos doentes que desenvolveram sintomas GI durante o tratamento, desenvolveram sintomas tardios.

Tabela 3.10 Resumo dos estudos clínicos analisados sobre a comparação da toxicidade aguda e tardia, nas técnicas de 3D-CRT e IMRT, para doentes com cancro da próstata.

Estudos analisados		Kirichenko <i>et al.</i> [70], 2006	Zelevsky <i>et al.</i> [69], 2008
População	3D-CRT	928	830
	IMRT	482	741
Dose administrada	3D-CRT	Mediana 72Gy [70-79] Gy	66-75,6 Gy
	IMRT	74-78 Gy	81 Gy
Período de <i>Follow up</i>	3D-CRT	63.3 meses	10 anos
	IMRT	29.9 meses	6.5 anos
Toxicidade Nível	Gastrointestinal	Aguda	-
		Tardia	3D-CRT: 10.4% IMRT: 6.2 %
	Geniturinário	Aguda	-
		Tardia	3D-CRT: 8.4% IMRT: 5.7%
			3D-CRT: 13% IMRT: 5% 3D-CRT: 22% IMRT: 37 % 3D-CRT: 12% IMRT: 20%

Devido à heterogeneidade das abordagens metodológicas adoptadas nos diferentes ensaios clínicos apresentados na Tabela 3.9, torna-se crítico estimar as taxas de toxicidade GI nas modalidades de IMRT e de 3D-CRT. Contudo, nos estudos mais recentes, que consideraram uma população de doentes e períodos de *follow up* de dimensões superiores, como é o caso dos estudos de Kirichenko *et al.* e de Zelevsky *et al.*, sugerem que as taxas de toxicidade GI tardia variam de 10% -13% para 3D-CRT e 5%-6% para IMRT.

Os dados relativos à toxicidade GU a longo prazo, não demonstraram superioridade da técnica IMRT sobre a 3D-CRT. Alguns autores têm sugerido que isso acontece, porque a IMRT, na verdade, não produz uma dose inferior global à estrutura da uretra [76],[78]. As taxas de toxicidade GU tardia são cerca de 15% tanto com a IMRT como com a 3D CRT.

A avaliação dos efeitos da IMRT vs. 3D-CRT sobre a disfunção sexual é severamente prejudicada pela falta de dados fiáveis. Alguns dos doentes com cancro da próstata já sofrem de disfunção erétil, mesmo antes de iniciar o tratamento [80] adicionalmente,

este tipo de estudos não é realizado rotineiramente. Por esses motivos não é possível atribuir um maior ou menor incidência de disfunção erétil de IMRT vs. 3D-CRT com doses de radiação comparável, com base nos dados disponíveis.

3.7 IMRT no tratamento do carcinoma da mama

Na Europa o cancro da mama é o tumor com maior incidência na mulher. O tratamento da neoplasia da mama tem sofrido uma enorme evolução nos últimos anos, com tendência a abordagens cada vez menos invasivas e melhor qualidade do mesmo.

As opções terapêuticas mais utilizadas no tratamento desta neoplasia são: (1) terapia hormonal; (2) cirurgia conservadora (remoção do tumor com ou sem margens); (3) cirurgia não conservadora - mastectomia (remoção total da mama); (4) quimioterapia; (5) imunoterapia e por último (6) radioterapia.

Em 60% dos casos, a radioterapia é combinada com outras terapêuticas. A RT é parte integrante do tratamento após cirurgia conservadora, após a mastectomia tendo como objectivos a redução de recidivas loco-regionais e o aumento da sobrevivência [81]. Frequentemente, em tumores localmente avançados sem condições cirúrgicas após terapêutica sistémica adjuvante, pode ser utilizada como tratamento loco-regional definitivo.

A utilização da radioterapia adjuvante reduziu 3 vezes a probabilidade anual de recidiva local. Uma relação causa-efeito directa foi estabelecida entre a diminuição de recidiva local [82] e a diminuição da mortalidade específica por cancro da mama. No entanto, este benefício na sobrevivência foi diminuído por um aumento da mortalidade global nestas doentes [83].

O tratamento padrão para a fase inicial da doença é a RT seguida da cirurgia conservadora. Esta abordagem apresenta baixos riscos de recorrência, proporcionando uma boa alternativa à mastectomia [84]. Nestes casos, a dose prescrita é de 45-50Gy em 1.8-2Gy/fracção, recorrendo a campos tangenciais, de forma a minimizar o volume do pulmão e do coração exposto à radiação [85]. Adicionalmente também poderá ser realizado um *boost* ao leito tumoral de 10-20Gy em 5-10 fracções. No entanto, a utilização campos tangenciais produzem distribuições de dose heterogéneas, principalmente em doentes com seios grandes. Cerca 1/3 das mulheres desenvolvem toxicidade cutânea aguda e tardia, induzida pela irradiação total da mama, estas reacções são dolorosas e estão associadas a uma diminuição da qualidade de vida do doente [84].

Existe ainda um risco de morbilidade cardíaca tardia e de mortalidade que está relacionada com as localizações anatómicas do cancro de mama. O tratamento do cancro de mama esquerda com recurso a um campo anterior, e o aumento da área de *boost* esquerdo anterior são considerados factores de risco [77]. Tal como noutras patologias existe um risco, embora reduzido, de indução de segundas neoplasias [64].

As zonas que recebem dose excessiva ($>10\%$ da dose prescrita) são conhecidas como pontos quentes. Devido à limitação das técnicas convencionais em conformar rigorosamente a dose à complexa forma 3D da mama, resulta a incapacidade de fornecer uma dose homogénea ao volume-alvo. A vantagem da técnica IMRT é que permite remover eficazmente os pontos quentes, bem como realizar a entrega de dose no volume-alvo com grande precisão, resultando uma distribuição de dose mais homogénea (Figura 3.6). Deste modo, a irradiação da mama utilizando IMRT pode levar a uma redução significativa da toxicidade [84].

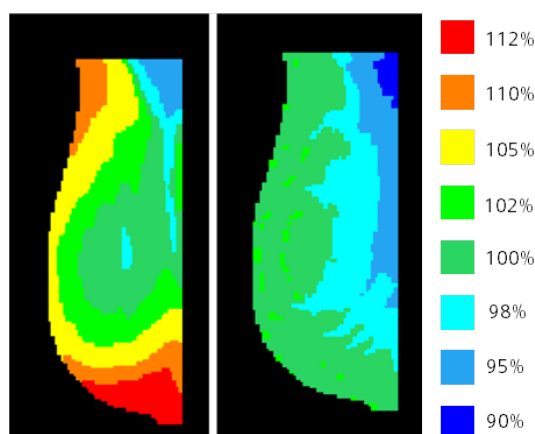


Figura 3.6 Exemplo de uma distribuição de dose sagital para (a) Plano de RT convencional 2D com cunhas; e (b) Plano IMRT. Adaptado de [86]

Devido à elevada conformidade da técnica IMRT, esta diminui a exposição dos órgãos de risco (pulmão e coração). Porém a ESTRO recomenda realizar IMRT em doentes com cancro da mama esquerda que apresentem um grande volume torácico, essencialmente em doentes que realizaram quimioterapia e com doenças cardiovasculares ou pulmonares. No entanto, uma desvantagem da IMRT é os erros que podem ocorrer devido aos movimentos de intra-fracção provocado pelos movimentos respiratórios como está representada na Figura 3.7 [87].

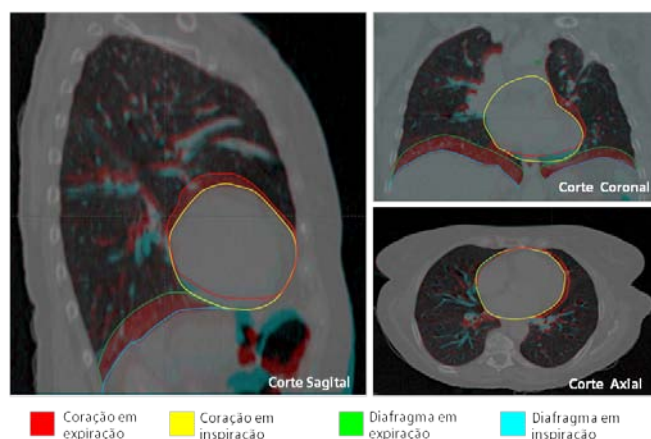


Figura 3.7 Imagens de CT representativa dos movimentos respiratórios. Adaptado de [87]

Tabela 3.11 Revisão sistemática de estudos clínicos comparativos: efeitos adversos da RT, nas técnicas de CRT e IMRT, para doentes com cancro da mama em estado inicial.

Estudos	Número de doentes		Resultados	IMRT (%)	CRT (%)	p
	IMRT	CRT				
Pignol et al. [84] (2007)	170	161	Toxicidade aguda cutânea (Grau 3-4)	27.1	36.7	0.06
Avaliação: 6 semanas			<i>Descamação:</i>			
			Totalidade da mama	31.2	47.7	0.002
			Sulco inframamário	26.5	43.5	0.001
			Dor (Grau 2-4)	23.5	25.5	0.68
Harsolia et al. [88] (2007)	93	79	<i>Grau de descamação:</i>			
			Grau 0	42	52	0.001
			Grau 1	37	10	0.001
			Grau 2	21	38	0.001
Avaliação: 4.7 anos			<i>Efeitos agudos (Grau ≥2):</i>			
			Dermatite	41	85	<0.001
			Edema	1	28	<0.001
			Hiperpigmentação	5	50	<0.001
			Dor	8	8	0.79
			<i>Efeitos tardios (Grau ≥2):</i>			
			Edema	1	25	<0.001
			Hiperpigmentação	7	17	0.06
			Necrose da gordura	0	1	0.46
			Fibrose	0	6	0.11
Donovan et al. [86] (2007)	150	156	Alterações da aparência da mama (fotografia):			
			Sem alterações	60.2	41.8	NA
			Alterações leves	29.7	44.3	NA
			Alterações acentuadas	10.2	13.9	NA
Avaliação: 5 anos			<i>Endurecimento da mama:</i>			
			Centro da mama	16	27	0.02
			Prega peitoral	12	27	0.006
			Prega inframamária	16	29	0.009

Entre Julho de 2003 e Março de 2005, 331 doentes com cancro da mama em estado inicial foram inseridas num estudo randomizado, com a finalidade de comprovar que a IMRT reduz a taxa de toxicidade cutânea aguda (nomeadamente a descamação), diminui a dor da doente, e melhora a qualidade de vida, em comparação com a RT convencional com recurso a cunhas. No ensaio clínico de Pignol *et al.* [84], realizado em dois Departamentos de Radioterapia no Canada, 170 doentes receberam IMRT e 161 receberam um tratamento de RT *standard*. As doentes foram avaliadas semanalmente até às 6 semanas após o tratamento de RT. Os resultados deste estudo demonstraram que a IMRT melhorou significativamente a distribuição de dose, em comparação com a RT *standard*. Isso traduziu-se numa menor proporção de doentes que sofreram descamação (31.2% IMRT vs. 47.8% CRT). O uso da IMRT não se correlacionou com a dor e com a qualidade de vida, mas a presença de descamação correlacionou-se com a dor e uma redução da qualidade de vida.

No seguimento de alguns ensaios realizados no *William Beaumont Hospital*, que concluíram que a IMRT com MLC em modo estático permite obter uma distribuição mais homogénea da dose na mama operada, comparativamente com a RT com recurso a cunhas convencionais, Harsolia *et al.* [88] pretenderam dimensionar a toxicidade aguda e crónica destas duas abordagens. Para tal, foram analisadas 172 doentes com cancro da mama em estado inicial, após terem sido submetidas a cirurgia conservadora. Das 172 doentes, 93 doentes foram tratadas com IMRT e as 19 doentes restantes com RT convencional. O *follow up* médio foi de 4,7 anos. Os resultados do estudo demonstraram que IMRT reduz significativamente a dermatite aguda, edema, a hiperpigmentação e reduz o desenvolvimento de edema da mama crónico, comparado com a técnica convencional.

O trabalho realizado por Donovan *et al.* [86] no *Royal Marsden Hospital*, no Reino Unido, teve o objectivo de comparar os efeitos adversos da RT conformacional 2D e da IMRT, no tratamento do cancro da mama em estágio inicial, após cirurgia conservadora (excisão do tumor). Neste estudo randomizado, realizado entre 1997 e 2000, foram consideradas 306 mulheres, cujo objectivo da terapêutica é curativo. A prescrição do tratamento para todas as doentes foi de 50Gy em 25 fracções, seguido de um *boost* 11.1Gy em 5 fracções. Numa primeira análise, foram comparadas fotografias do peito de 250 mulheres, do antes e após 5 anos da terapêutica, onde se registou que a modalidade CRT provocou uma maior mudança de aparência da mama do a IMRT (58% CRT vs. 40% IMRT). Numa segunda análise foram avaliados: a dureza da mama, a qualidade de vida e auto-avaliações de desconforto. Foram poucas as doentes de IMRT

que desenvolveram endurecimento palpável da mama. Relativamente às restantes avaliações, não foram encontradas diferenças significativas entre as duas modalidades.

4 Caso de Estudo:

Serviço de Radioterapia de um PCS Público

Neste capítulo é apresentado o estudo de um Departamento de Radioterapia de um PCS público, sediado na região centro do país, cuja identidade não é revelada para efeitos de publicação do presente estudo.

O objectivo primordial deste estudo centra-se na avaliação e optimização da utilização da técnica IMRT. Deste modo, é essencial compreender o modo de funcionamento deste serviço para que, com isso, sejam encontradas propostas que visem à extensão da tecnologia a outras neoplasias, com o mínimo de impacto a nível de custos. Parte-se, então, do pressuposto de que este objectivo pode ser alcançado optimizando-se a utilização dos recursos existentes, designadamente, ao nível dos recursos humanos e tecnológicos, salvaguardando-se os elevados padrões de qualidade na prestação de cuidados de saúde existentes, bem como a actividade assistencial do mesmo.

4.1 Apresentação do Serviço de Radioterapia

O Departamento de Radioterapia conta, desde a sua criação, com uma história longa e de relativo sucesso no tratamento de doentes oncológicos, assumindo-se como um serviço de referência mundial, tendo sido alvo de um projecto de modernização recente, no ano de 2006.

Este parceiro clínico foi a instituição pioneira na introdução da técnica IMRT a nível nacional. Desde Fevereiro de 2008 que se encontra em funcionamento e disponível para realizar o tratamento de doentes seleccionados com tumores de cabeça e pescoço. Na Figura 4.1 encontra-se o número de tratamentos realizados até Junho do presente ano.

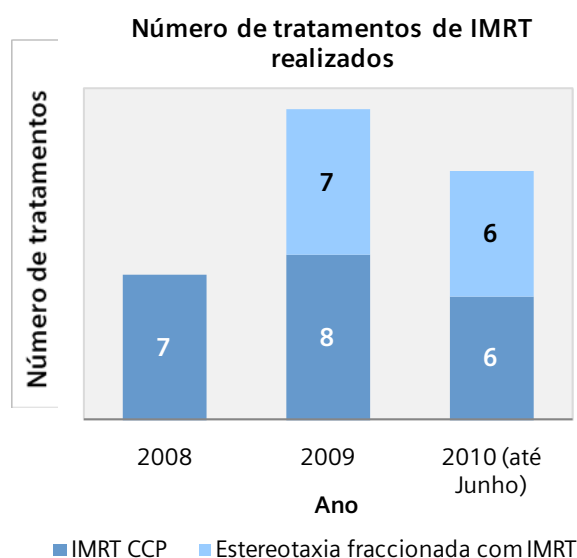


Figura 4.1 Gráfico do número de tratamentos de IMRT realizados no parceiro clínicos nos anos de 2008, 2009 e 2010 (até Junho).

A equipa clínica do PCS: 11 médicos radioterapeutas, 7 físicos especializados em física médica, 5 dosimetristas, 20 técnicos de radioterapia e 8 enfermeiros.

O serviço possui um LINAC (Clinac 600C Varian®, USA), instalado em 1996 e dois aceleradores lineares (Siemens ONCOR™ Avant-Garde, Concord, USA), instalados em 2007. A vantagem de possuir dois aceleradores gémeos reside na possibilidade de realizar uma gestão optimizada das paragens não programadas, permitindo que os doentes sejam tratados em qualquer equipamento sem necessidade de replaneamento.

O serviço dispõe ainda de uma unidade de CT (SOMATOM Sensation Open Siemens Medical System, München, Alemanha), com um sistema de *lasers* móveis (LAP,

Lüneburg, Alemanha), que permite realizar simulação virtual. O serviço optou, ainda, por manter a hipótese de realizar simulação convencional (Simulix Evolution™ Nucletron, Veenendaal, Holanda) destinado a doentes da mama, visto serem casos que representam posicionamentos problemáticos, e ainda são realizados no acelerador mais antigo.

4.2 Metodologia

Em seguida será apresentada a metodologia que foi utilizada no estudo e análise do *workflow* do parceiro clínico, bem como na construção dos modelos de *workflow* de IMRT para o carcinoma da próstata e da mama. Após o estudo dos *workflows*, compararam-se as modalidades 3D-CRT vs. IMRT para cada patologia através das mais-valias económicas - relação custo-eficácia das técnicas.

Relativamente ao processo metodológico deste projecto, o mesmo consistiu em quatro etapas distintas:

- **EtapA A-** Estudo e análise dos *workflows* do parceiro clínico;
- **EtapA B-** Definição dos modelos de *workflow* de IMRT aplicado ao cancro da próstata e da mama;
- **EtapA C -** Comparação do *workflow* de 3D-CRT do parceiro clínico com o modelo de *workflow* de IMRT para cada patologia;
- **EtapA D –** Projecção de cenários na utilização da técnica de IMRT à neoplasia da mama.

4.2.1 Etapa A – Estudo e análise dos *workflows* do parceiro clínico

O estudo e a análise dos *workflows* de 3D-CRT (mama e próstata) e IMRT (C&P) foram realizados em contacto directo com o PCS de forma a compreender o funcionamento e a organização do Serviço de Radioterapia. Deste modo, recorrendo-se à observação directa das actividades, documentos do serviço, bem como, a testemunhos de alguns dos principais profissionais intervenientes, analisaram-se os procedimentos técnicos e clínicos envolvidos no tratamento de IMRT a doentes de C&P, e no tratamento de 3D-CRT das patologias em estudo.

Na Figura 4.2 está esquematizada a metodologia adoptada para a presente etapa. Primeiramente, começou por se definir os 3 níveis de análise: (1) o nível 1, correspondente à análise dos quatro *workflows* do parceiro clínico em estudo;

seguindo-se (2) o nível 2, onde, para cada *workflow*, se analisaram as quatro etapas principais de um tratamento completo de RT; e por fim, (3) para cada uma das etapas Avaliação, Planeamento, Tratamento e *Follow up*, definiram-se as respectivas actividades no nível 3. Neste nível abordou-se todo o estudo intensivo das variáveis do *workflow*. Desta forma, para cada actividade, quantificaram-se os RH intervenientes, a duração das actividades e recursos tecnológicos utilizados.

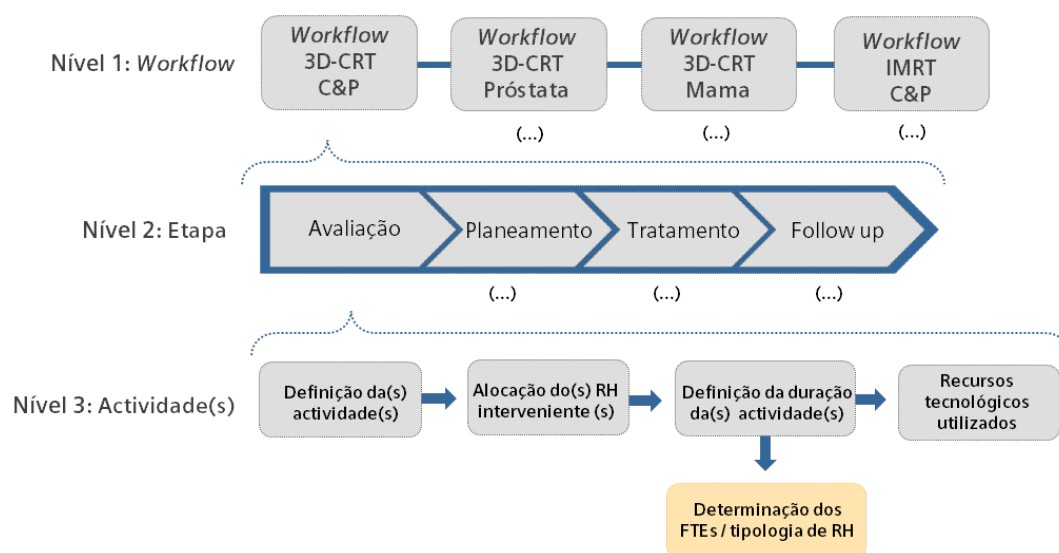


Figura 4.2 Esquema representativo da metodologia utilizada no estudo e análise dos *workflows*.

De notar que não foi realizada uma medição da duração temporal das diversas actividades. Esta variável foi estimada, de acordo com os pareceres dos profissionais de saúde intervenientes na mesma. Como tal, foi essencial seguir um referencial de comparação da duração das actividades que consistiu, como ilustra a Figura 4.3, na:

- Comparação da duração temporal da mesma actividade nos restantes *workflows* tendo em conta, as características e a prescrição típica do tratamento para cada patologia – comparação horizontal;
- Comparação da duração temporal da actividade, com a duração das restantes actividades do mesmo *workflow* – comparação vertical.

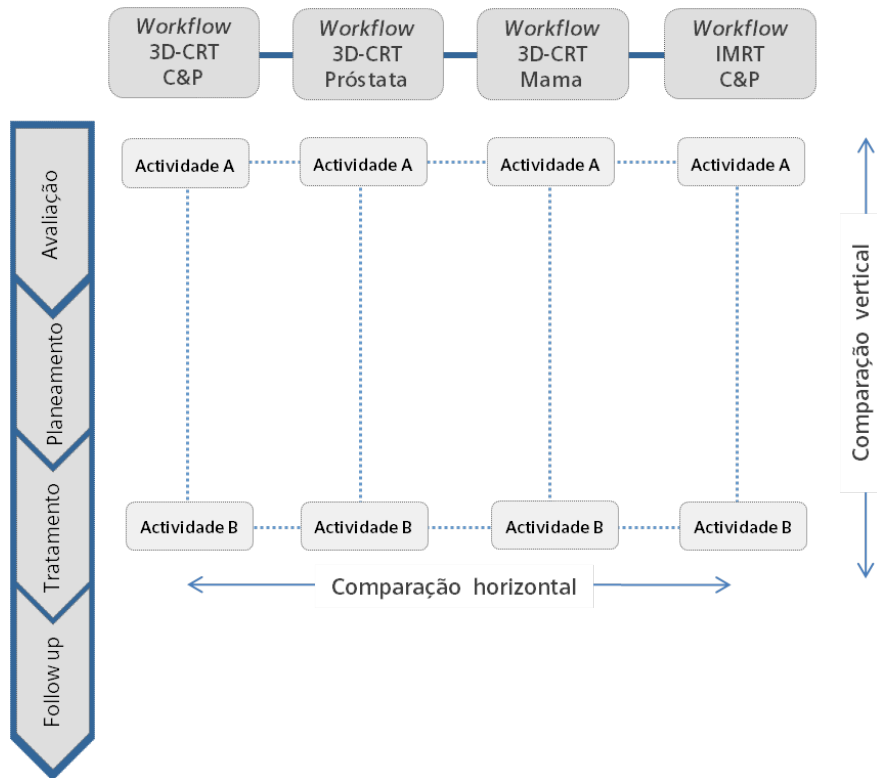


Figura 4.3 Esquema representativo do referencial utilizado para comparar as variáveis das actividades.

Após a recolha das variáveis de cada *workflow*, converteram-se os minutos de trabalho de cada tipologia de RH em *full-time equivalent* (FTE). O FTE é uma unidade de medida que expressa o número de empregados, a tempo integral, necessário para realizar uma determinada tarefa. No caso em estudo, considerou-se que um trabalhador a tempo completo trabalha 8 horas/dia, durante 5 dias/semana, portanto, 40 horas/semana, ao longo de 52 semanas, o que perfaz 2080 horas/ano e em média 173,33 horas/mês. Tendo em conta que, um profissional da carreira médica tem direito a 15 dias úteis de formação/ano (Artigo 25º, Capítulo III, Decreto-Lei n.º 177/2009 de 4 de Agosto), bem como a dois dias de férias por cada mês de trabalho (Artigo 238º, Capítulo II, Subsecção X, Código do Trabalho), perfaz 221 dias de trabalho/ano, o que convertendo para horas, corresponde a 1768 horas/ano (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 Horas de trabalho, em horário completo em relação ao dia, semana, mês e ano, respectivamente.

Dia	Semana	Mês	Ano
8 horas/dia	40 horas/semana	173,33 horas/mês	1768 horas/ano

De salientar que a contabilização do tempo de trabalho por cada grupo de profissionais foi realizada ao nível 2, isto é, nas principais etapas do *workflow*. A título exemplificativo, analisou-se a etapa Avaliação do *workflow* 3D-CRT da próstata (ver Figura 4.4). Nesta etapa ocorrem três actividades distintas, com as respectivas durações temporais e RH (número e tipo) alocados. Assim, na etapa Avaliação existem (RH1XT1)/480 FTEs de enfermeiros, (RH2XT2)/480 FTEs de médicos e por último, (RH3XT3)/480 FTEs de técnicos.

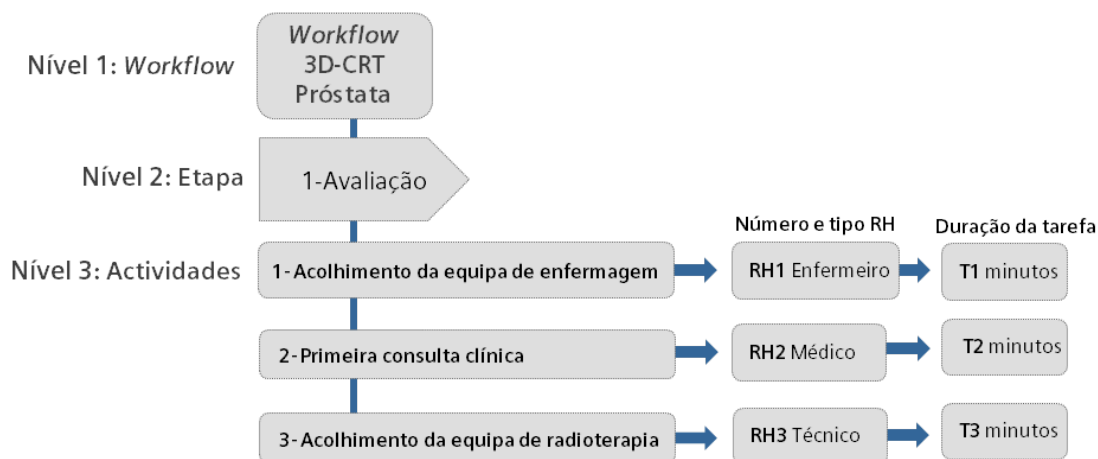


Figura 4.4 Exemplo da análise da etapa Avaliação do *workflow* 3D-CRT Próstata.

4.2.2 Etapa B- Definição dos modelos de *workflow* de IMRT para o carcinoma da próstata e da mama

A definição dos modelos de *workflow* de IMRT teve como base a pesquisa bibliográfica, com recurso a artigos, *guidelines* internacionais, revisões sistemáticas, sendo os mais relevantes e actuais descritos no Capítulo 3. Por outro lado, estes modelos foram também sustentados na experiência do parceiro clínico nos tratamentos de IMRT a doentes de C&P. Desta forma, na definição das actividades e respectivos tempos, recursos humanos e tecnológicos, procurou-se sempre traçar um paralelismo com a patologia de C&P.

De salientar ainda que a metodologia seguida para o estudo e a análise dos *workflows* foi idêntica à adoptada na Etapa A, tanto na definição da duração das actividades como no cálculo dos FTEs.

4.2.3 Etapa C - Comparação do *workflow* de 3D-CRT do parceiro clínico com o modelo de *workflow* de IMRT para cada patologia.

Nesta etapa, compararam-se os *workflows* das duas modalidades de RT, para cada patologia, de forma a avaliar o impacto da realização da IMRT no serviço em estudo.

Para contabilizar a diferença dos custos inerentes à realização das duas técnicas no parceiro clínico, realizou-se um modelo económico. Neste modelo foram contabilizados tanto os custos inerentes à diferença da carga de trabalho dos RH intervenientes, como o ganho financeiro associado à diminuição dos efeitos adversos da RT, em doentes com carcinoma da próstata e da mama tratados com IMRT. De salientar que, estes custos foram contabilizados por doente tratado.

A diferença da carga de trabalho associado a cada tipologia de RH foi expresso em FTEs, valor resultante da análise de cada *workflow*. Já os custos associados à diminuição dos efeitos adversos da RT foram estimados a partir de taxas de toxicidade obtidas num levantamento bibliográfico. A partir da diferença entre as respectivas taxas, calculou-se o número de doentes que é necessário tratar com IMRT, para prevenir um caso de toxicidade (NDT), a equação utilizada foi a seguinte:

$$NDT = \frac{1}{T_{CRT} - T_{IMRT}} \quad \text{(Equação 4.1)}$$

em que, T_{CRT} e T_{IMRT} representam as taxas de toxicidade associados a um tratamento de 3D-CRT e IMRT, respectivamente.

Para a patologia da próstata consideraram-se os resultados obtidos no relatório de Person *et al.* [89] realizado no *Institute for Clinical and Economic Review*, onde os autores concluíram que no tratamento de doença localizada, com doses compreendidas entre os 75-80 Gy, não se observou qualquer benefício da IMRT sobre as taxas de recidiva bioquímica da doença, nem um aumento do risco de desenvolver neoplasias secundárias. Quanto às taxas de toxicidades, apenas foi registada uma diferença significativa na taxa de toxicidade GI tardia (14% 3D-CRT vs. 4% IMRT). Ainda neste estudo foi estimado em \$2 346, o custo de um tratamento de toxicidade GI, considerando um ano a duração mediana da terapêutica.

Para a patologia da mama, consideraram-se as taxas de toxicidade aguda e tardia (estatisticamente relevantes) do estudo de Harsolia *et al.* [88], pois dos ensaios clínicos analisados, é aquele que considera um período de *follow up* superior, correspondente a 4.7 anos. Os custos associados às respectivas terapêuticas encontram-se no Anexo 6, foram estimados com base na experiência clínica do parceiro clínico.

4.2.4 Etapa D – Projecção de cenários na utilização da técnica de IMRT

Nesta última etapa, estudou-se o impacto económico da realização da IMRT ao invés da técnica conformacional no PCS em estudo, projectando três cenários distintos: (1) cenário actual; (2) cenário ideal; e por último (3) cenário em que é possível realizar com os RH existentes. Optou-se por realizar este estudo à neoplasia que se apresentou potencialmente mais vantajosa para o PCS a nível económico (resultado da Etapa C).

Designa-se como cenário actual o que é realizado presentemente no PSC. A finalidade deste cenário foi quantificar o número de FTEs que estão associados ao *workflow* 3D-CRT da neoplasia em estudo por tipologia de RH, anualmente. Isto tendo em conta o respectivo volume assistencial do serviço (número de tratamentos/ano). Estes dados servem para, posteriormente, se comparar os respectivos valores de FTEs que resultaram do cenário actual com os resultados do cenário ideal.

O cenário ideal é aquele que seria o desejado no parceiro clínico, isto é, na realização da técnica de IMRT a todos os doentes que têm prescrição para a realizar em detrimento da técnica conformacional. Após se calcular os FTEs necessários à concretização deste cenário, calculou-se a diferença em relação aos FTEs que resultaram do cenário actual (alocados ao fluxo de trabalho que o serviço possui), essa diferença corresponde aos RH que o parceiro clínico impreterivelmente necessita à realização da técnica IMRT.

Por último, projectaram-se cenários em que é possível realizar a IMRT apenas com os RH existentes no serviço.

5 Resultados e Discussão

Neste capítulo apresentam-se os resultados do estudo e análise dos *workflows* do parceiro clínico, bem como os modelos de *workflow* de IMRT propostos para a neoplasia da próstata e da mama. Estes resultados são discutidos individualmente e depois para a mesma neoplasia comparam-se os *workflows* das técnicas 3D-CRT e IMRT e respectiva diferença de custos. Posteriormente, para neoplasia que apresenta maior potencial no que diz respeito a questões económicas, projectaram-se cenários para a sua implementação no Serviço de Radioterapia em estudo.

5.1 Etapa A – Estudo e análise dos *workflows* do parceiro clínico

Do estudo e análise dos *workflows* do parceiro clínico, para cada *workflow* definiu-se as actividades existentes, por sua vez, para cada uma das actividades alocou-se os RH intervenientes (número e tipologia) e respectivas durações temporais. No Anexo 7 encontram-se os resultados desta análise para os *workflows* da 3D-CRT nas neoplasias da C&P, mama e próstata, bem como, para o *workflow* do cancro de C&P recorrendo à técnica IMRT.

Numa primeira análise, verifica-se que, para os *workflows* (análise nível 1) da técnica conformacional, em cada etapa (análise nível 2) existem as mesmas actividades (análise nível 3) que, por sua vez, envolvem os mesmos recursos tecnológicos e número/tipologia de RH. São excepção as actividades “Realização da máscara de Imobilização”, bem como, a “Realização de simulação convencional” que são características das patologias de C&P e da mama, respectivamente. Salienta-se ainda que no parceiro clínico, o planeamento directo computadorizado da patologia C&P é realizado pelo físico ao invés do dosimetrista.

Para cada actividade, a variável analisada mais susceptível de discussão, bem como aquela que mais varia de *workflow* para *workflow*, é o tempo (duração das actividades). Esta variável também é determinante para o cálculo dos custos, visto que está directamente relacionada com as necessidades de RH no serviço. Como já foi mencionado no Capítulo 3.4, a duração temporal de um procedimento é uma variável crítica e que depende de inúmeros factores ingovernáveis na rotina clínica.

Nestes modelos assumiu-se que as actividades decorreram normalmente e que os casos em estudos eram doentes independentes, sem próteses, e que todas as actividades decorreram sem paragens ou atrasos.

Considerou-se, ainda, que as actividades “1ª Consulta clínica”, e “Consulta de seguimento” da etapa *Follow up* têm a duração de 25 minutos, enquanto as actividades “Consulta de Seguimento” realizadas semanalmente durante a etapa Tratamento têm a duração de 15 minutos. Para as restantes consultas de enfermagem e da equipa de radioterapia, correspondentes às actividades “Acolhimento da equipa de enfermagem” e “Acolhimento da equipa de radioterapia”, respectivamente, considerou-se que possuem uma duração de 15 minutos. Dado que estas considerações são transversais a todas as patologias e para ambas as modalidades de RT, e também tendo em conta que ocorrem com o mesmo número e frequência para cada patologia, a análise foi focada para as etapas de “Planeamento” e “Tratamento”.

Por forma a facilitar o estudo de cada um dos *workflows*, para cada etapa, agruparam-se alguns conjuntos de actividades, designados de procedimentos. No Anexo 8 encontra(m)-se a(s) actividade(s) que foram agrupadas em procedimentos, para o *workflow* de 3D-CRT e IMRT, respectivamente.

5.1.1 Etapa Planeamento

Na Figura 5.1 encontra-se o gráfico com a duração dos principais procedimentos técnicos e clínicos da etapa Planeamento do parceiro clínico, que de seguida irá ser discutido, detalhadamente.

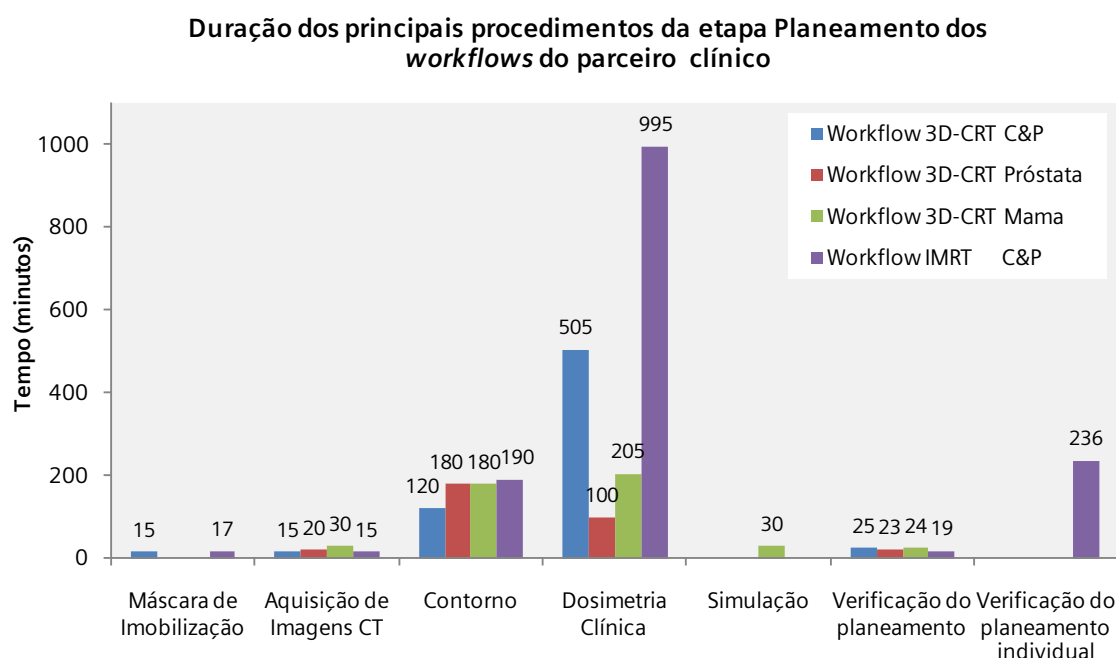


Figura 5.1 Comparação da duração dos principais procedimentos técnicos e clínicos da etapa do Planeamento dos *workflows* do parceiro clínico.

No parceiro clínico a imobilização da mama e da próstata fazem-se com recurso a acessórios de imobilização, enquanto para a neoplasia da C&P se recorre a um sistema de imobilização complexa — máscara de imobilização termoplástica. Consequentemente, o *workflow* de C&P envolve a realização de uma actividade extra — “Realização da máscara termoplásticas de imobilização”. Apesar desta actividade ser em tudo semelhante nas duas técnicas de RT, o material termoplástico utilizado na IMRT caracteriza-se por ter um período de secagem superior, o que justifica o aumento de 2 minutos.

Na actividade “Aquisição de Imagens CT” teve-se em consideração que o tempo de posicionamento do doente foi igual ao atribuído à actividade “Posicionamento” da etapa “Tratamento”. De acordo com a metodologia adoptada na imobilização, o posicionamento da C&P é o mais rápido com 4 minutos, seguido do posicionamento da próstata com 5 minutos e por último, com 10 minutos, a mama.

De ressaltar ainda, que o *workflow* IMRT possui a actividade correspondente à aquisição MRI. Contudo esta não foi contabilizada nos modelos pois, por motivos de logística, esta não é realizada com os RH do Serviço de Radioterapia.

Para os clínicos o grande desafio na técnica IMRT é a delimitação dos volumes-alvo a irradiar e os OAR a proteger. Esta actividade está directamente dependente da experiência do profissional de saúde [50], assim como do programa utilizado [54]. Na análise dos *workflows* da C&P, constatou-se que, a definição do contorno da IMRT implicou um aumento de 25% em relação à técnica conformacional (2horas CRT vs. 2.5horas IMRT), essencialmente, devido ao elevado número de estruturas a proteger que existe neste tipo de planeamentos. Esta diferença não é muito significativa porque no serviço em estudo já estão protocoladas as delineações do GTV, PTV, CTV e OARs na técnica conformacional, todos os volumes que são necessários serem delineados na técnica de IMRT.

O tempo de planeamento é bastante relativo, pois tanto depende da experiência do operador, como da complexidade do caso de estudo. Quanto maior o número de estruturas de risco em redor do tumor, bem como menor a sua distância ao PVT, maior a complexidade e, consequentemente, o tempo do planeamento. Das patologias em estudo (utilizando a técnica conformacional), a C&P é aquela que requer mais tempo de planeamento directo, 8 horas, comparativamente, com as 3 horas e 1.5 horas, da mama e próstata respectivamente. A modalidade de IMRT, como seria de expectável, é a que envolve um tempo de planeamento superior, com uma duração média de 16 horas, devido à exigência do planeamento inverso.

A neoplasia da mama tem um tempo de planeamento muito variável, pois apesar de não ter tantas estruturas de risco adjacentes, como a patologia da C&P, devido à sua localização apenas permite a utilização de campos tangenciais. Os movimentos respiratórios exigem, ainda, uma grande margem de segurança no planeamento e por vezes devido à proximidade dos órgãos de risco os planeamentos podem-se tornar complexos e demorados.

O tempo de planeamento requerido para a neoplasia de C&P no parceiro clínico é superior em 3 horas, ao relatado por Murthy *et al.* [50] (abordado na secção 3.4) recorrendo à técnica 3D-CRT. Tal justifica-se pois a técnica adoptada pelo parceiro

clínico é uma melhoria da técnica convencional. A nova técnica, também conhecida por “IMRT com planeamento directo”, foi introduzida como etapa prévia à aplicação clínica do IMRT, portanto esta envolve em média 5-6 direcções, 20-30 campos de irradiação com fotões e, aproximadamente 3 segmentos, sendo a sua complexidade é superior aos 7-9 campos coplanares utilizados por Murthy *et al.*. A exigência do planeamento desta técnica, analogamente com a CRT tradicional exige no parceiro clínico que seja o físico médico a realizar o planeamento directo ao invés do técnico dosimetrista.

Das patologias em estudo, a simulação convencional é exclusiva dos planeamentos da mama. Esta opção do parceiro clínico em realizar simulação convencional prende-se com o facto de a maioria dos tratamentos serem realizados no LINAC mais antigo, o Clinac. Apesar de este equipamento possuir EPID, não se afigura relevante a utilização deste último uma vez que, pela sua baixa qualidade, não se adequa correctamente aos posicionamentos mais problemáticos como é o caso das mamas volumosas

A “Verificação do Planeamento”, como já foi referido na secção 3.1.7, é uma actividade comum às duas modalidades de RT. A duração da mesma depende, essencialmente, do número de campos de cada tratamento. Quanto maior o número de campos de um tratamento, maior o tempo dispendido na confirmação das MUs.

Como referido na secção 3.1.7, a principal diferença entre os *workflows* CRT e IMRT, consiste na “Verificação do planeamento individual”. De acordo com Palta *et al.* [42] a verificação do planeamento individual para cada doente, procedimento de QA específico da IMRT, requer em média 200 horas para 40 doentes, o que equivale a 5 horas/doente. O tempo dispendido no parceiro clínico para este processo é de aproximadamente de 4.5 horas.

5.1.2 Etapa Tratamento

O gráfico com a duração dos principais procedimentos técnicos e clínicos da etapa de “Tratamento” está representado na Figura 5.2.

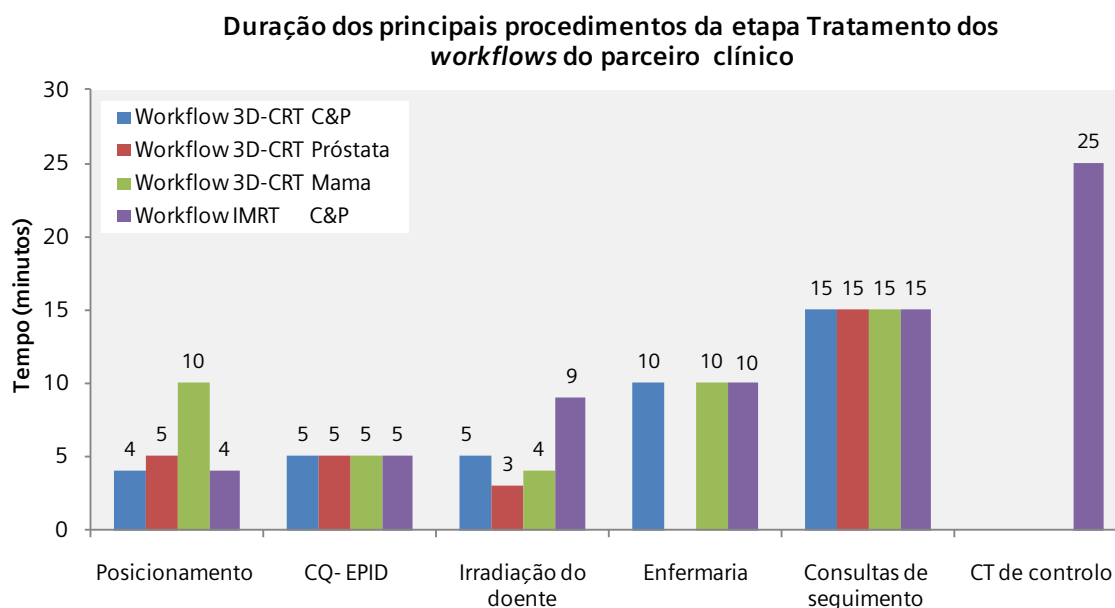


Figura 5.2 Comparação da duração dos principais procedimentos técnicos e clínicos da etapa do Tratamento dos workflows do parceiro clínico.

O número de campos utilizados num tratamento depende da dose total prescrita no volume-alvo. Teoricamente, quanto maior o número de campos utilizados para fornecer uma dose elevada no PVT, menor é a dose absorvida nos tecidos adjacentes. Em contrapartida, o aumento do número de campos do tratamento induz a um aumento da duração do mesmo [19]. Desta forma, o tempo de irradiação é superior na patologia de C&P, seguida da mama e, por último da próstata (20-30 campos, 4-7 campos tangenciais e 4-7 campos, respectivamente). No que diz respeito à IMRT, apesar de envolver menos campos do que a “IMRT directa”, implica um ligeiro aumento no tempo de irradiação devido ao número de conformação que o MLC tem de realizar em cada campo.

O “CQ – EPID” é realizado nas primeiras três sessões de tratamento e, posteriormente, com uma frequência semanal, sendo que independentemente da patologia e do modo de funcionamento (Imagem planar 2D ou *Cone Beam CT* 3D), tem uma duração de aproximadamente 5 minutos. Comparativamente com o estudo de Van de Werf *et al.* [52] (abordado na secção 3.4) este valor é aceitável, dado que concluiu que o tempo extra necessário para realizar o EPID é de 5.4 minutos.

Após cada sessão de tratamento, os doentes com neoplasia de C&P e da mama são acompanhados até à enfermaria para colocar soluções tópicas emolientes com o intuito de minimizar os efeitos adversos da radioterapia.

Concluídas, sensivelmente, metade das sessões de tratamento, os doentes de IMRT realizam uma CT de controlo com o intuito de assegurar se as condições para as foi realizado o planeamento se mantêm. Após a fusão da CT de planeamento com a nova CT, o clínico avalia se prossegue o tratamento ou se é realizado um novo planeamento. A duração desta etapa é sensivelmente igual ao dispendido na actividade “Aquisição de Imagens CT” de planeamento acrescido de 10 minutos, correspondentes à operação de fusão.

5.2 Etapa B- Definição dos modelos de *workflow* de IMRT

Para a definição dos modelos de *workflow* de IMRT para as patologias de próstata e mama, teve-se como base a pesquisa bibliográfica, bem como, o *workflow* de IMRT da C&P abordado na secção 5.1. No Anexo 8 encontram-se os modelos de *workflow* de IMRT construídos para a neoplasia da próstata e da mama.

Dado que, estes modelos se basearam no *workflow* de IMRT da neoplasia de C&P, do parceiro clínico, os pressupostos considerados na Etapa A mantêm-se válidos, resumidamente:

- (1) Todas as actividades decorreram normalmente, sem paragens ou atrasos;
- (2) Os casos de estudo são simples, isto é, não se consideraram doentes com próteses ou outras doenças que interfiram com o decorrer normal do tratamento;
- (3) Consideraram-se que as consultas de avaliação clínica e *follow up* têm duração de 25 minutos, enquanto as consultas de enfermagem, da equipa de radioterapia e de seguimento semanais têm uma duração de 15 minutos.

Analogamente à etapa anterior, o “Planeamento” e o “Tratamento” são as etapas alvos de estudo.

5.2.1 Etapa de Planeamento

De seguida, na Figura 5.3, está ilustrado o gráfico com a duração temporal atribuída aos principais procedimentos do planeamento da próstata e da mama utilizando a técnica de IMRT. Com o intuito de facilitar a sua análise acrescentaram-se, novamente, os dados relativos ao *workflow* IMRT do parceiro clínico.

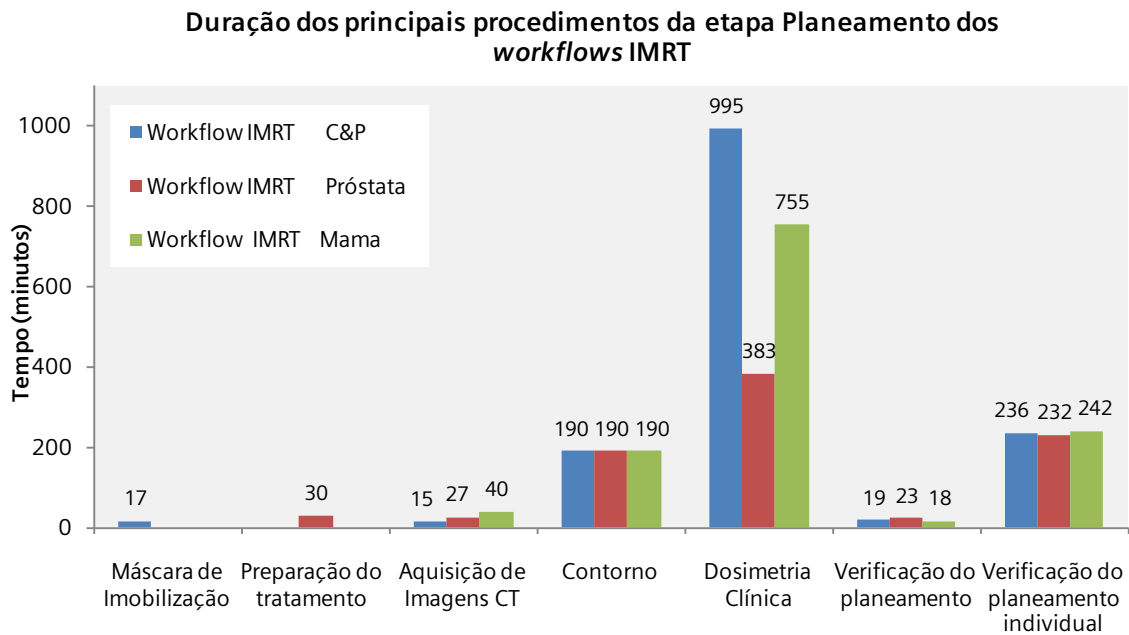


Figura 5.3 Comparação da duração dos principais procedimentos técnicos e clínicos da etapa do Planeamento dos workflows do parceiro clínico.

Apesar de a IMRT exigir um posicionamento mais rigoroso, devido à elevada precisão da técnica, optou-se por continuar a recorrer a sistemas de imobilização simples. Soluções como o suporte pélvico termoplástico, apresentado na Figura 3.3 (b), ou mesmo o suporte mamário termoplástico, são sistemas de imobilização pouco práticos na rotina clínica, pois nas zonas imobilizadas o doente tem muita facilidade em perder volume, como consequência da perda de peso.

Contudo, para a neoplasia da próstata optou-se por recorrer à IGRT, de acordo com as recomendações da NCCN [60], uma técnica de localização, que permite obter informação do alvo antes da irradiação, de forma a melhorar a precisão do feixe [90]. São várias as técnicas possíveis para realizar IGRT em detrimento do EPID, optou-se por recorrer à utilização de marcadores fiduciais de ouro, que são colocados antes da aquisição das imagens de planeamento. Estas sementes são implantadas por um urologista experiente, no ou perto do PVT, guiado por ultra-sonografia transrectal [28]. Este procedimento é muito similar a uma biópsia prostática. Assim, quando se realiza a imagem portal antes da irradiação, é possível localizar as sementes e corrigir, se necessário, o posicionamento do doente no momento do tratamento. A actividade de implantação das sementes denominou-se “Preparação do Tratamento”, e considerou-se que tem a duração de 30 minutos, a duração aproximada que um urologista demora a colocar três sementes de braquiterapia, no parceiro clínico.

Relativamente à mama, optou-se por um sistema de *gating* respiratório para controlar o ciclo respiratório do doente [87]. Desta forma, é possível diminuir as margens do volume de tratamento, que está directamente relacionado com os movimentos respiratórios. Esta também é considerada uma técnica de IGRT, na medida em que durante o tratamento o feixe é ligado e desligado a cada respiração, com base no sinal respiratório do doente [91]. Na prática, esta técnica inevitavelmente aumenta a duração da actividade de “Aquisição de imagens CT”, pois também é necessário monitorizar a respiração nesta etapa para adquirir as imagens durante o momento de inspiração. Por essa razão, acrescentou-se 10 minutos a esta etapa em relação à técnica conformacional.

Analogamente à patologia de C&P, a aquisição de MRI para realizar o planeamento da mama e da próstata é recomendada. Contudo esta actividade não se encontra na Figura 5.3, porque como já foi referido não é realizada com os recursos humanos do Serviço de Radioterapia.

O tempo consumido na definição de volumes é uma função directa da experiência do médico e é bastante variável. Neste caso considerou-se que, para ambas as patologias não houve acréscimo do tempo para esta actividade em relação à técnica conformacional. Pois, para estas neoplasias já são delineados todos os OARs e respectivas doses tolerantes, para além dos volumes-alvo.

A definição da duração temporal da actividade “Realização do planeamento inverso computadorizado” para cada *workflow* em estudo é aquela que possui mais susceptibilidade de incerteza, e, em simultâneo, é a actividade do *workflow* que consome mais tempo, por isso, foi a última variável “tempo” a ser definida.

O tempo consumido na realização de um planeamento inverso depende de vários factores como a técnica em causa, o TPS utilizado e a experiência do operador. A título exemplificativo, Das *et al.* [54] chegaram à conclusão que alguns TPS têm uma duração temporal até cinco vezes superior quando comparados com outros TPS. Ainda neste estudo, referenciado na secção 3.4, verificou-se que a duração de um planeamento de C&P demora aproximadamente 30 horas, valor relativamente semelhante ao obtido no parceiro clínico (24,5 horas). Por essa razão partiu-se do tempo total de um planeamento da próstata relatado no estudo, sensivelmente 14 horas. Dada a impossibilidade de se aceder a informações objectivas e fundamentadas relativas às durações temporais desta actividade, ao contrário das restantes actividades da etapa “Planeamento”, optou-se por estimar a sua duração através da diferença entre o valor da duração total do planeamento obtido no estudo e o valor da soma do tempo das

restantes actividades da mesma etapa. Na Tabela 5.1 está sintetizado o raciocínio descrito.

Tabela 5.1 Tempos considerados para o cálculo da duração temporal da actividade “Realização do planeamento inverso computadorizado”, para a patologia da próstata.

Duração de um planeamento total da próstata Estudo de Das <i>et al.</i> [54]	Modelo de <i>workflow</i> IMRT Próstata	
	Tempo de planeamento total sem a duração da actividade “Realização do planeamento inverso computadorizado”	Duração da actividade “Realização do planeamento inverso computadorizado”
14 horas	8.20 horas	6 horas

Quanto ao *workflow* da mama, não foram encontrados estudos que estimassem o tempo da realização do planeamento inverso. Como tal, presumiu-se no modelo de IMRT que a actividade “Realização do planeamento inverso computadorizado” tem a duração de 12 horas. Este valor surge pois do *workflow* da 3D-CRT, verificou-se que o tempo da actividade “Realização do planeamento directo computadorizado” da mama corresponde ao dobro do tempo da mesma actividade da próstata, assumindo a mesma proporção para o *workflow* de IMRT verifica-se chega-se às 12 horas.

Relativamente à duração temporal do procedimento “Verificação do planeamento individual”, assumiu-se que se consome aproximadamente o mesmo tempo para todas as patologias. As excepções são os tempos de irradiação da câmara de ionização e do fantoma homogéneo (ver Anexo 8), que têm a mesma duração da actividade “Irradiação do doente” (da etapa de Tratamento) acrescida de 3 minutos correspondentes ao posicionamento do fantoma. Esta opção fundamenta-se sobretudo na escassez de estudos sobre a duração temporal desta actividade com recurso à técnica com MLC em modo estático para as patologias da próstata e da mama e também pelo facto de ser necessário realizar os mesmos procedimentos nesta actividade.

5.2.2 Etapa de Tratamento

De seguida, na Figura 5.4, está ilustrado o gráfico com a duração temporal atribuída aos principais procedimentos do tratamento da próstata e da mama utilizando a técnica de IMRT. Com o intuito de facilitar a sua análise acrescentaram-se, novamente, os dados relativos ao *workflow* IMRT do parceiro clínico.

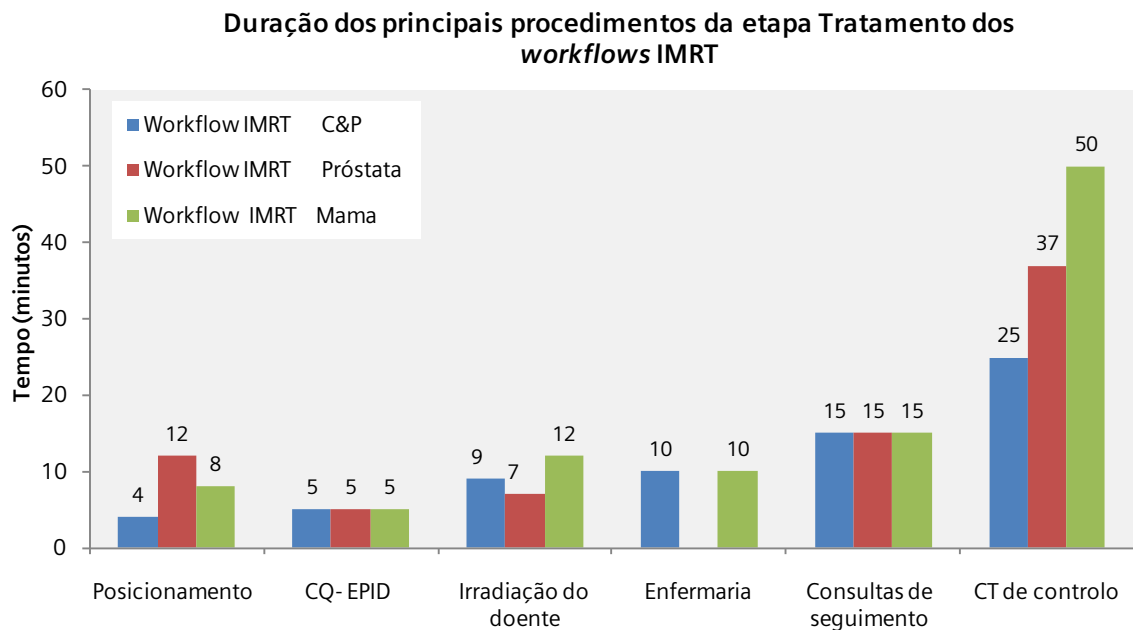


Figura 5.4 Comparação da duração dos principais procedimentos técnicos e clínicos da etapa do Tratamento dos *workflows* do parceiro clínico.

Com base no estudo de Adams *et al.* [51], considerou-se que o “Tratamento diário” na patologia da próstata é de 24 minutos (desde a entrada até à saída do doente). Sabendo que o tempo dispendido no procedimento “CQ-EPID” é de 5 minutos, redistribuiu-se proporcionalmente, o restante tempo pelas actividades “Posicionamento” e a “Irradiação do doente”.

De acordo com o estudo realizado por Keall *et al.* [91] a realização de *gating*, no tratamento de cancro da mama, num tratamento de IMRT, foi responsável por o tempo de irradiação do doente ter triplicado, relativamente à utilização da técnica conformacional. Face isto, considerou-se que o tempo de irradiação do doente passou de 4 para 12 minutos.

O estudo de Miles *et al.* [92] concluiu que o tempo de planeamento global da patologia de C&P superior ao da patologia da próstata. De ressaltar que, a técnica de IMRT utilizada neste ensaio clínico foi a “*sliding window*”.

5.3 Etapa C - Comparação do *workflow* de 3D-CRT do parceiro clínico com o modelo de *workflow* de IMRT para cada patologia.

Nesta última etapa, para a mesma patologia compararam-se os *workflows* da técnica 3D-CRT com a IMRT. Neste âmbito foi realizada uma análise comparativa da distribuição dos FTEs dos RH intervenientes pelas quatro etapas dos *workflow* ("Avaliação", "Planeamento", "Tratamento" e "Follow up") e, simultaneamente, da totalidade dos FTEs necessários, para cada uma das modalidades e a respectiva diferença. A partir da diferença de FTEs necessários para cada técnica, estimou-se os custos associados aos RH necessários para realizar um tratamento de IMRT. Estes resultados encontram-se no Anexo 10 e serão descritos seguidamente.

5.3.1 3D-CRT vs. IMRT na neoplasia de C&P

Como se conclui da análise da Tabela 5.2, a IMRT apresenta um aumento de 64% no tempo de um tratamento completo, comparando com a técnica convencional para um tratamento de 32 sessões.

Tanto a técnica conformacional melhorada como a IMRT são muito exigentes, principalmente, no que diz respeito ao tempo de trabalho de um físico. O tempo total da etapa de "Planeamento" é significativamente superior na IMRT, sendo que a diferença é sensivelmente de 13.2 horas (Tabela 5.2). Tal facto deve-se à exigência do planeamento inverso e da verificação do plano individual do doente (actividade exclusiva da IMRT), que representam um peso de 65% e 16% na duração total do planeamento IMRT, respectivamente.

Tabela 5.2 Comparação da duração temporal da etapa "Planeamento", da actividade "Tratamento diário" e do tratamento completo, nas técnicas de IMRT e 3D-CRT, para a neoplasia da C&P.

	Duração das Etapas		Tratamento completo**
	Planeamento	Tratamento diário*	
3D-CRT	11.3 horas	14 minutos	25.0 horas
IMRT	24.5 horas	18 minutos	41.0 horas

* Na actividade "Tratamento diário" não está contabilizado o tempo da "Enfermaria".

** Duração das etapas Avaliação, Planeamento e Tratamento, considerando um tratamento típico de 32 sessões.

Como se observa na Figura 5.5, no que diz respeito ao trabalho do médico, o delineamento de estruturas é também muito exigente, mas não representa uma diferença significativa na duração da actividade (2 horas 3D-CRT vs. 2.5 horas IMRT). Como seria de esperar, o tempo de trabalho realizado pelo enfermeiro não sofre quaisquer alterações (Figura 5.6), visto continuar a realizar as mesmas actividades sem qualquer variação. Já com o dosimetrista, verifica-se um ligeiro aumento de 0,03 FTEs, com a realização da CT de controlo. Com a IMRT o técnico de radioterapia teve um aumento de 0.65 FTEs, devido, essencialmente, ao acréscimo do tempo de irradiação do doente (5 minutos 3D-CRT vs. 9 minutos IMRT).

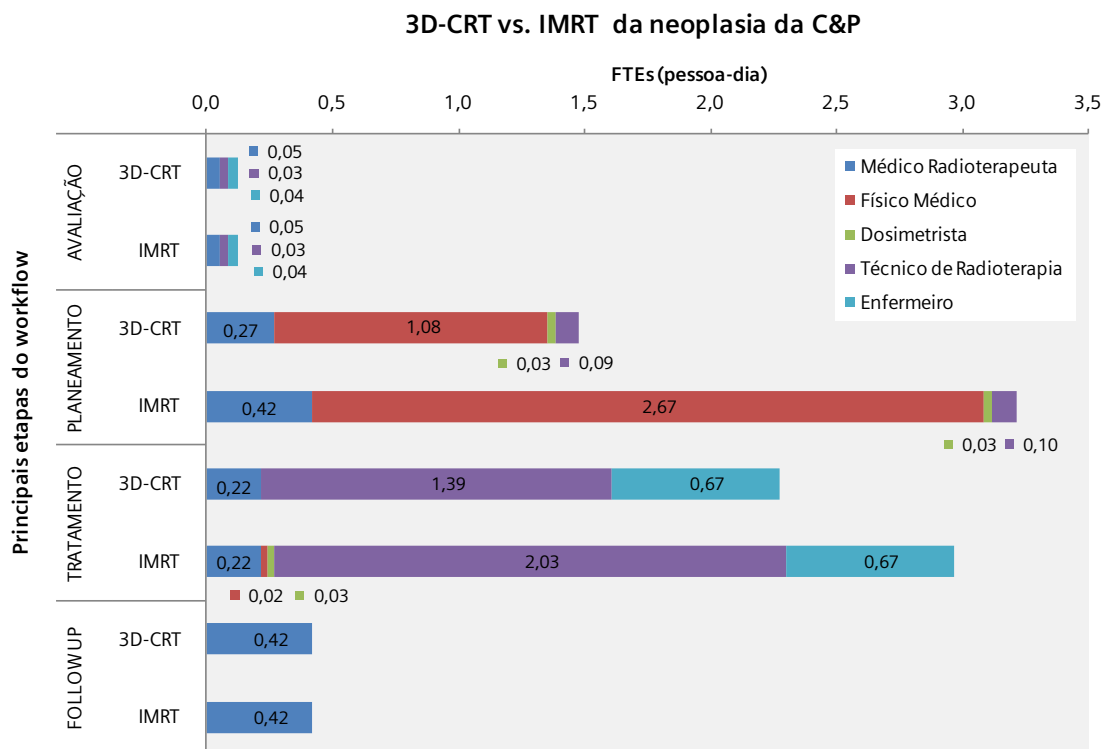


Figura 5.5 Comparação dos FTEs necessários por cada etapa, nas técnicas 3D-CRT e IMRT, na neoplasia da C&P.

A partir do Figura 5.6 o tempo do médico radioterapeuta mantém-se praticamente inalterado (com um aumento de 1.2horas/tratamento) com a introdução da IMRT. Contudo é necessário ressaltar que, na maioria das actividades do *workflow* o médico é o responsável e portanto, é necessário muitas vezes deslocar-se até à CT, ou mesmo ao LINAC para aprovar o posicionamento do doente ou mesmo analisar as imagens do EPID. Estes *workflows* não exemplificam situações complicadas onde é impreterível rever novamente o posicionamento e o planeamento do doente.

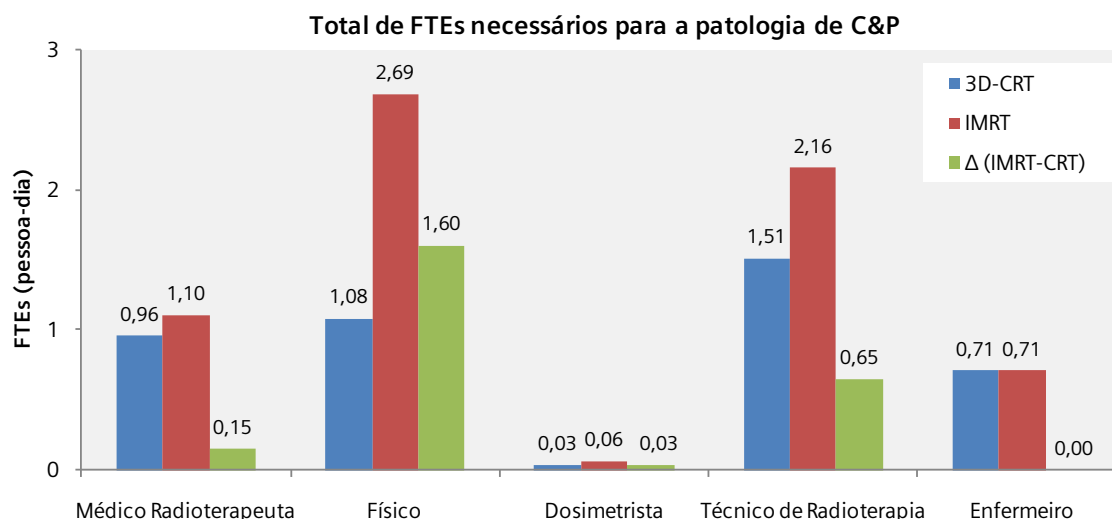


Figura 5.6 Total de FTEs necessários para os *workflows* 3D-CRT e IMRT, e respectiva diferença, na neoplasia da C&P.

Como se pode verificar no Anexo 10, a IMRT provocou um acréscimo de, aproximadamente, 190€ por cada tratamento de neoplasia da C&P realizado, isto contabilizando apenas os RH envolvidos. Pois a partir dos modelos de cálculo de custos para RT disponíveis em bibliografia, os custos salariais são a componente mais determinante dos custos da RT, devido à elevada carga de trabalho dos profissionais de saúde [47],[56],[52],[57]. Além disto, devem ser tomados em consideração outros factores como a máscara termoplástica utilizada (43,66 € 3D-CRT vs. 53,76 € IMRT) e os recursos tecnológicos adquiridos.

5.3.2 3D-CRT vs. IMRT na patologia de Próstata

Como se observa na Tabela 5.3, o tempo do tratamento global teve alterações relevantes entre as duas técnicas, prevendo-se que a IMRT à próstata consuma mais do dobro do tempo que a técnica conformacional, mesmo, realizando em média menos uma sessão de RT por tratamento.

Tabela 5.3 Comparação da duração temporal da etapa “Planeamento”, da actividade “Tratamento diário” e do tratamento completo, nas técnicas de IMRT e 3D-CRT, para a neoplasia da próstata.

	Duração das Etapas		Tratamento completo*
	Planeamento	Tratamento diário	
3D-CRT	5.4 horas	13 minutos	14,6 horas
IMRT	14.8 horas	24 minutos	34.0 horas

*Duração das etapas Avaliação, Planeamento e Tratamento, considerando um tratamento típico de 40 sessões para 3D-CRT e 39 sessões para IMRT.

A partir da Figura 5.8, prevê-se na IMRT, um aumento significativo do tempo do físico, em relação à RT convencional, correspondente a aproximadamente 11 horas. Em contrapartida, observa-se uma diminuição do tempo do dosimetrista correspondente a 95 minutos/doente na etapa de “Planeamento”. Analisando a Figura 5.7, constata-se que é na etapa “Planeamento” que tais alterações ocorrem, pois, a actividade de CQ do planeamento individual acrescenta, por si só, aproximadamente 3.9 horas, e a realização do planeamento computadorizado passa a ser da competência do físico, em lugar do dosimetrista.

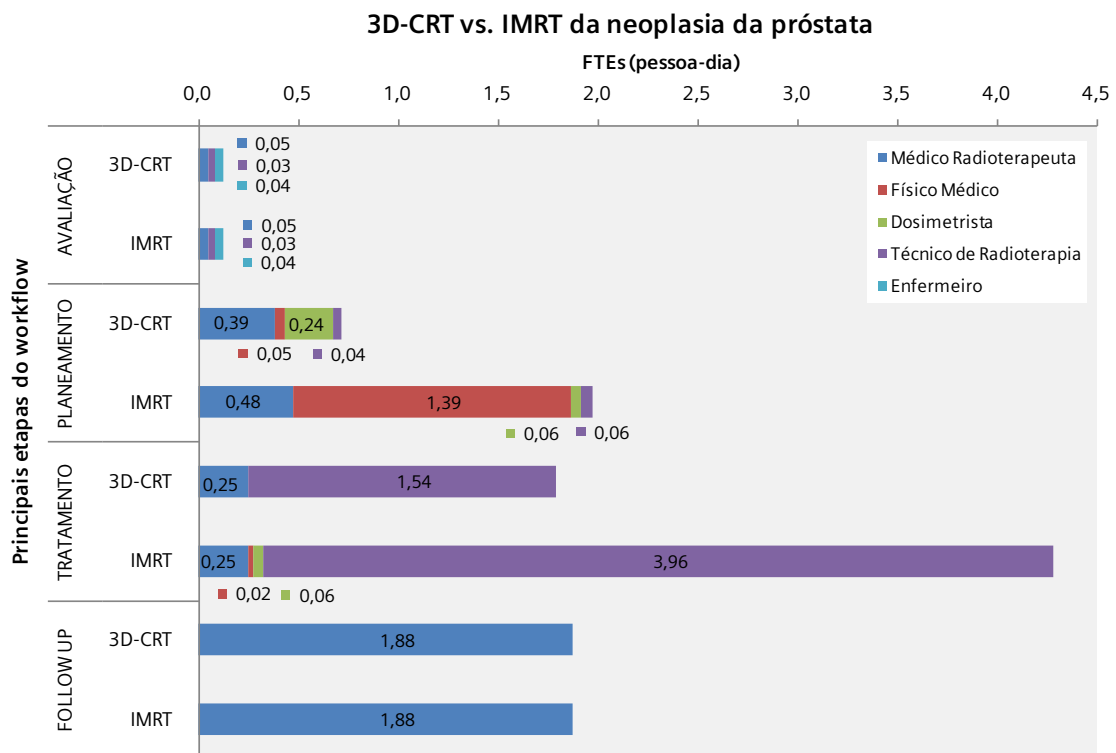


Figura 5.7 Comparação dos FTEs necessários por cada etapa, nas técnicas 3D-CRT e IMRT, na neoplasia da próstata.

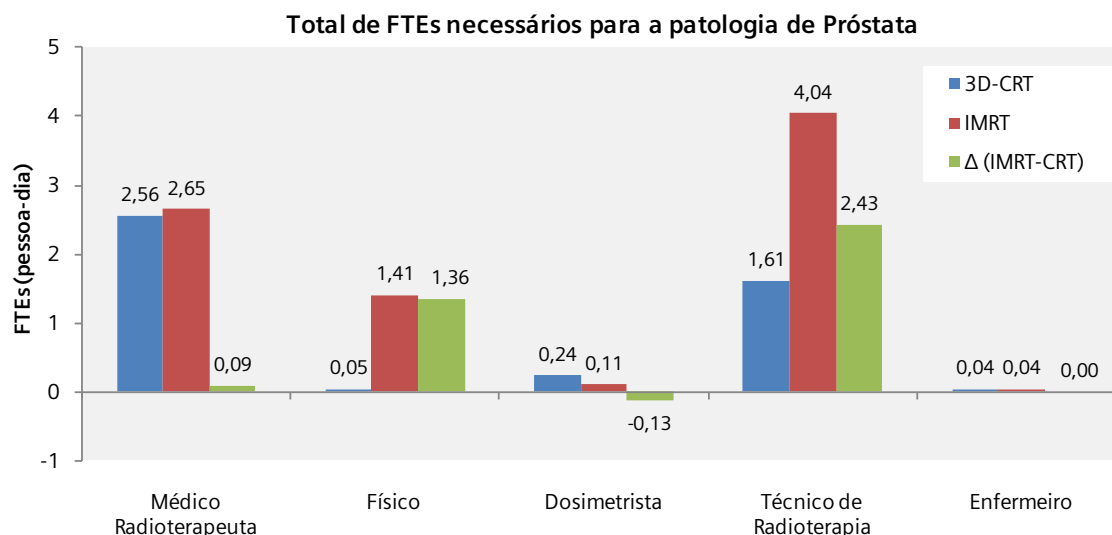


Figura 5.8 Total de FTEs necessários para os *workflows* 3D-CRT e IMRT, e respectiva diferença, na neoplasia da próstata.

É também expectável que o trabalho do enfermeiro não sofra alterações, porém o do técnico de radioterapia aumente, na etapa “ Tratamento” (1.54 FTEs 3D-CRT vs. 3.96 FTEs IMRT), devido, ao aumento do tratamento diário em 11 minutos (Tabela 5.3) e também à necessidade de realizar uma nova CT aquando o doente realizou metade das sessões de tratamento.

Relativamente ao médico, este apresenta um incremento de 43 minutos para a IMRT (Figura 5.8), porém 30 minutos correspondem à actividade “Preparação do tratamento” que é realizada pelo médico especialista em urologia.

A diferença de custos associados à terapia do cancro da próstata com a realização de IMRT ao invés de 3D-CRT é de aproximadamente 80€/doente (Anexo 10). Os pressupostos considerados no modelo económico foram a diferença do *workload* dos RH envolvidos e das taxas de toxicidade na IMRT quando comparada com a 3D-CRT.

5.3.3 3D-CRT vs. IMRT na patologia da Mama

A partir da Tabela 5.4 verifica-se que, para um tratamento típico de 25 sessões, o tempo global de um tratamento de carcinoma da mama, praticamente duplica com a realização de IMRT, em vez de RT conformacional.

Tabela 5.4 Comparação da duração temporal da etapa “Planeamento”, da actividade “Tratamento diário” e do tratamento completo, nas técnicas de IMRT e 3D-CRT, para a neoplasia da mama.

	Duração das Etapas		Tratamento completo**
	Planeamento	Tratamento diário*	
3D-CRT	7.8 horas	19 minutos	20,8 horas
IMRT	20.8 horas	25 minutos	38.4 horas

* Na actividade “Tratamento diário” não está contabilizado o tempo da “Enfermaria”.

** Duração das etapas Avaliação, Planeamento e Tratamento, considerando um tratamento típico de 25 sessões.

Como expectável a carga de trabalho do físico é a que mais será afectada com um aumento de 2.13 FTEs (Figura 5.10), correspondente a um aumento de, aproximadamente, 17 horas/tratamento, pelas mesmas razões já mencionadas nas secções 5.3.1 e 5.3.2.

Como já foi referido a actividade “Irradiação do doente” triplica face à técnica 3D-CRT, assim como a realização de uma nova CT em metade das sessões de tratamento, o que implica uma afectação directa de 1.09 FTEs no trabalho do técnico de radioterapia na etapa de “Tratamento” (Figura 5.9). Porém, a utilização da IMRT permitiu abdicar a realização da actividade “Simulação”, que libertou dois técnicos que dedicavam 30 minutos do seu tempo por doente. Contudo, o sistema de *gating* aumentou em 10 minutos a realização da CT de planeamento.

Quanto ao dosimetrista, apesar de com a IMRT estar afecto a uma nova actividade, a CT de controlo na etapa de “Tratamento”, o balanço em termos de carga de trabalho é negativo (-0,29 FTEs/tratamento), uma vez que este deixa de realizar o planeamento do doente que consumia aproximadamente 3 horas/doente (Figura 5.10).

O clínico também demonstra, uma diminuição de -0,04 FTEs (Figura 5.10), que corresponde a 20 minutos, devido essencialmente, ao facto de ter deixado de realizar a simulação, compensado, em 10 minutos, pelo aumento da actividade “Contorno”.

Através do modelo económico apresentado no Anexo 10 verifica-se que com a realização da IMRT se pode poupar até 75€ por doente tratado. Tal significa que, os custos dos efeitos adversos prevenidos aquando a realização da IMRT, compensam o custo da diferença do *workload* dos RH envolvidos.

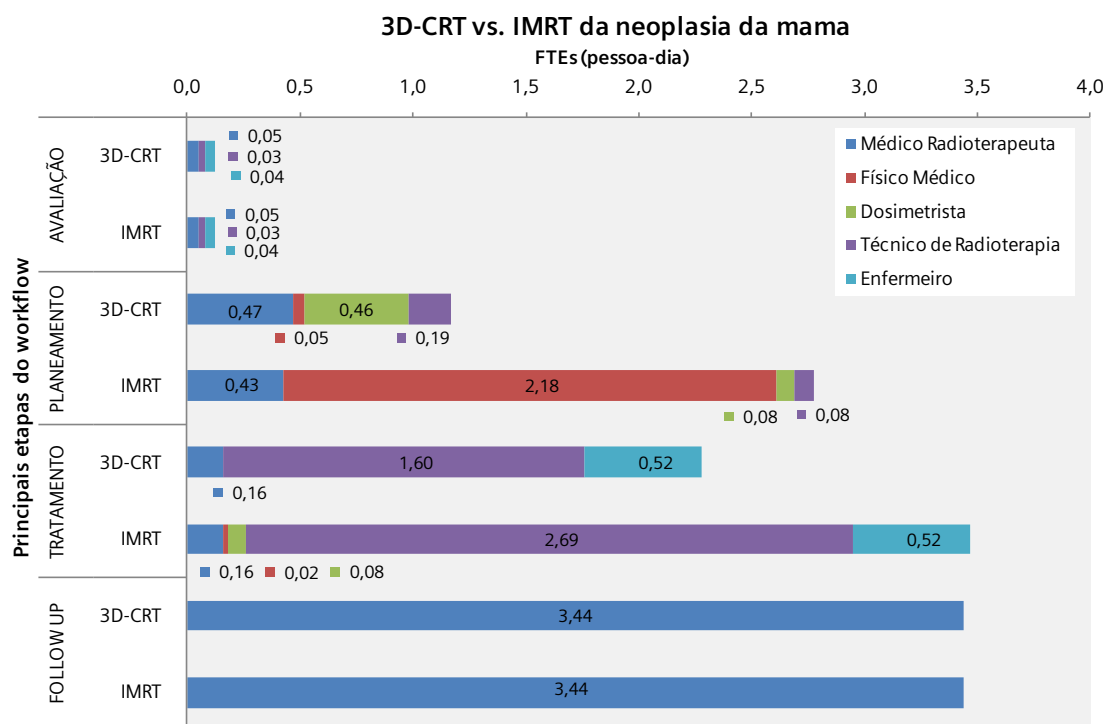


Figura 5.9 Comparação dos FTEs necessários por cada etapa, nas técnicas 3D-CRT e IMRT, na neoplasia da mama.

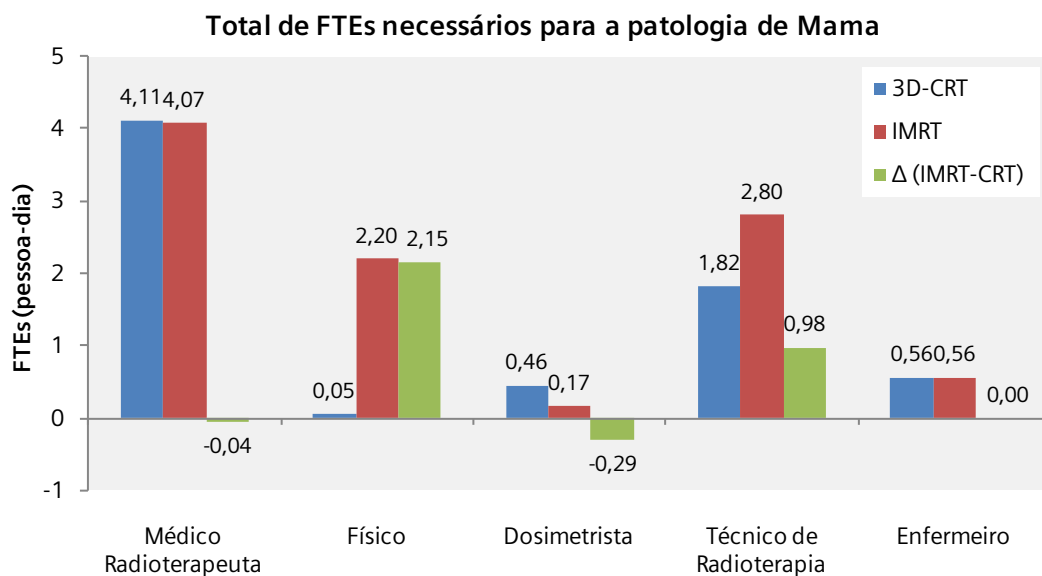


Figura 5.10 Total de FTEs necessários para os workflows 3D-CRT e IMRT, e respectiva diferença, na neoplasia da mama.

5.4 Etapa D – Projecção de cenários na utilização da técnica de IMRT à neoplasia da mama

Das neoplasias em estudo, a da mama é a que apresenta maior potencial no que diz respeito a questões económicas, uma vez que de acordo com os dados apresentados no Anexo 10 ao se contabilizar os custos que se podem prevenir com a redução da taxa de toxicidade nos tratamentos de IMRT, poderão eventualmente compensar um aumento do custo com RH, devido à exigência da técnica IMRT. Neste contexto, estudou-se o impacto económico da realização desta técnica ao invés da técnica conformacional no PCS projectando três cenários distintos: (1) cenário actual; (2) Cenário Ideal; e (3) Cenário de IMRT sem alteração dos RH existentes.

5.4.1 Cenário actual do parceiro clínico

De acordo com o relatório de contas do PCS em estudo, em 2008 foram tratados 692 doentes com cancro da mama. Sabendo que, aproximadamente, em 60% desses casos a RT é combinada com outras terapêuticas [2],[81], assume-se que, no mesmo ano, 415 doentes realizaram tratamentos de radioterapia no serviço.

Tendo-se estimado o número de FTEs (pessoa-dia) por tipologia de RH, necessários à realização de um tratamento à mama utilizando a técnica 3D-CRT, calculou-se, de seguida, o número de FTEs (pessoa-ano) por tipologia, associado à realização dos 415 tratamentos, isto é, o número de FTEs dedicados anualmente à realização de 3D-CRT à patologia da mama (Tabela 5.5). Para tal, considerou-se que num ano de trabalho, em regime de horário completo (40 horas/semana), um profissional de saúde trabalha cerca de 1768 horas (ver Tabela 4.1).

De ressaltar que, para o cálculo do tempo de alocação total dos RH, partiu-se do *workflow* de 3D-CRT (definido na Etapa A), cujos pressupostos definidos consideraram que todas as actividades decorreram sem interrupções, não existindo tempos mortos entre as mesmas. Daí resulta que, o número de FTEs dedicados por cada um dos intervenientes ao tratamento de cancro da mama é inferior relativamente ao que acontece na rotina clínica.

Tabela 5.5 Cálculo do número de FTEs (pessoa-ano), em função da tipologia de RH, dedicados anualmente à realização de 3D-CRT à patologia da mama.

Tipologia de RH	FTEs /tratamento (pessoa-dia)	Nº de horas / tratamento	Nº de horas / 415 tratamento	FTEs / 415 tratamentos (pessoa-ano)
Médico Radioterapeuta	4.11	32.9	13 667.0	7.7
Físico Médico	0.05	0.4	166.1	0.1
Dosimetrista	0.46	3.7	1 522.4	0.9
Técnico de radioterapia	0.82	14.6	6 055.0	3.4
Enfermeiro	0.56	4.5	1 868.4	1.1

5.4.2 Cenário ideal no parceiro clínico

Como já foi abordado na secção 3.7, em ensaios clínicos a IMRT está a ser aplicada, principalmente, ao tratamento de doentes que se encontram na fase inicial da doença, após cirurgia conservadora [86],[88] pois, apresentam baixos riscos de recorrência da doença [84]. Por essa razão, considerou-se que o cenário ideal no parceiro clínico é a realização de IMRT aos doentes em estágio inicial da doença, enquanto os restantes casos continuariam a realizar a técnica conformacional.

Partindo do pressuposto que no parceiro clínico, sensivelmente, um terço das doentes têm as condições para realizar IMRT, então o cenário considerado ideal implica a realização de IMRT a 138 doentes e 3D-CRT nos restantes 277 doentes, isto num ano.

Seguindo o raciocínio utilizado no cálculo do número de FTEs dedicados anualmente à realização de 3D-CRT à patologia da mama, calculou-se o número de FTEs por ano que será necessário possuir para concretizar o cenário ideal, considerando os 277 tratamentos de 3D-CRT (Tabela 5.6), e os 138 tratamentos com IMRT (Tabela 5.7). Para cada tipologia de RH, ao somar os FTEs das duas técnicas, obteve-se o total de FTEs necessários à realização do cenário ideal. Comparando este número com o número de FTEs dedicados anualmente à realização de 3D-CRT à patologia da mama, obtém-se o número de FTEs que é necessário introduzir no PCS para concretizar o cenário ideal (Tabela 5.8).

Tabela 5.6 Cálculo do número de FTEs (pessoa-ano), em função da tipologia de RH, necessários anualmente à realização de 277 tratamentos de 3D-CRT à patologia da mama.

Tipologia de RH	FTEs /tratamento (pessoa-dia)	Nº de horas / tratamento	Nº de horas / 277 tratamento	FTEs / 277 tratamentos (pessoa-ano)
Médico Radioterapeuta	4.11	32.9	9 111,3	5,2
Físico Médico	0.05	0.4	110,7	0,1
Dosimetrista	0.46	3.7	1 014,9	0,6
Técnico de radioterapia	0.82	14.6	4 036,7	2,3
Enfermeiro	0.56	4.5	1 245,6	0,7

Tabela 5.7 Cálculo do número de FTEs (pessoa-ano), em função da tipologia de RH, necessários anualmente à realização de 138 tratamentos de IMRT à patologia da mama.

Tipologia de RH	FTEs /tratamento (pessoa-dia)	Nº de horas / tratamento	Nº de horas / 138 tratamento	FTEs / 138 tratamentos (pessoa-ano)
Médico Radioterapeuta	4.07	32.6	4 509.5	2.6
Físico Médico	2.20	17.6	2 435.8	1.4
Dosimetrista	0.17	1.3	184.5	0.1
Técnico de radioterapia	2.80	22.4	3 102.5	1.8
Enfermeiro	0.56	4.5	622.8	0.4

Tabela 5.8 Cálculo do número de FTEs (pessoa-ano), em função da tipologia de RH, que será necessário anualmente à concretização do cenário ideal.

Tipologia de RH	3D-CRT FTEs / 277 tratamentos (pessoa-ano)	IMRT FTEs / 138 tratamentos (pessoa-ano)	Cenário Ideal FTEs / 415 tratamentos (pessoa-ano)	Cenário Actual FTEs / 415 tratamentos (pessoa-ano)	FTEs necessários (pessoa-ano)
Médico Radioterapeuta	5.2	2.6	7.7	7.7	0.0
Físico Médico	0.1	1.4	1.4	0.1	1.3
Dosimetrista	0.6	0.1	0.7	0.9	-0.2
Técnico de radioterapia	2.3	1.8	4.0	3.4	0.6
Enfermeiro	0.7	0.4	1.1	1.1	0.0

Através da análise da Tabela 5.8, verifica-se que é necessário 1.3 FTEs de físico e 0.6 FTEs de técnico de radioterapia para concretizar o cenário ideal no parceiro clínico. Após se estimar o número de FTEs anuais que o parceiro clínico necessita contratar para implementar o cenário ideal, mantendo o volume assistencial (415 tratamentos/ano), calculou-se o respectivo custo (Tabela 5.9), com recurso à grelha salarial apresentada na Tabela A10.1 (presente no Anexo 10).

Tabela 5.9 Cálculo do custo anual resultante da contratação do número de FTEs (pessoa-ano), em função da tipologia de RH, à concretização do cenário ideal.

Tipologia de RH	FTEs necessários (pessoa-ano)	Salário anual (14 meses)	Custo anual
Médico Radioterapeuta	0.0	47 296 €	0 €
Físico Médico	1.3	24 500 €	32 987 €
Dosimetrista	-0.2	16 310 €	- 2 979 €
Técnico de radioterapia	0.6	16 310 €	10 001 €
Enfermeiro	0.0	16 800 €	0 €
Total:			40 010 €

Portanto, para concretizar o cenário ideal, estima-se que o parceiro clínico tenha de realizar um investimento anual de 40 010 € em RH. Porém, é necessário ter em conta que, como foi estimado no Anexo 10, em cada 4 doentes tratadas com IMRT, pode-se prevenir um caso de toxicidade, cuja terapêutica possui um custo aproximado de 960 €. Desta forma, caso o parceiro clínico realize IMRT em 138 doentes por ano, estima-se que possa prevenir 35 casos de toxicidade, o que envolve um custo de 33 600€ anual nas terapêuticas. Se o parceiro clínico tiver em conta os custos relacionados com a diminuição da toxicidade, anualmente, a realização da IMRT ao invés da 3D-CRT pode implicar apenas um custo de 6 410 €. De ressaltar que, este valor apenas inclui o custo de RH, que foi estimado a partir do modelo de *workflow* de IMRT proposto (Etapa C).

5.4.3 Cenário de IMRT sem alteração dos RH existentes.

Por último estimou-se o número de doentes que é possível tratar com IMRT –variável X , mantendo os FTEs disponíveis (cenário actual). Como tal é crucial diminuir o volume assistencial do serviço – variável Y . O raciocínio, que está ilustrado na Figura 5.11 foi análogo ao realizado no cenário anterior, mas agora partindo do pressuposto que a diferença entre os FTEs entre o cenário possível e do cenário actual é menor ou igual a zero.

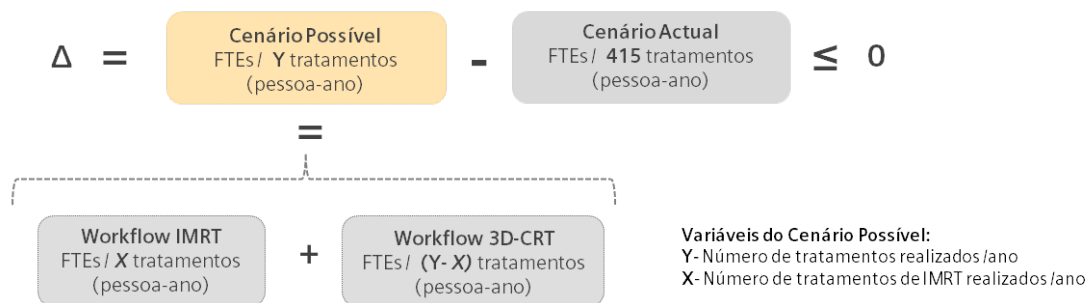


Figura 5.11 Representação esquemática do raciocínio utilizado para calcular o número máximo de tratamentos de IMRT (variável X) que é possível realizar, mantendo os FTEs do cenário actual (disponíveis actualmente no serviço).

Como se verificou anteriormente, no cenário ideal, o físico e o técnico de radioterapia constituem a principal lacuna para o serviço em estudo, portanto foram o alvo do deste cenário. Na Tabela 5.10 e na Tabela 5.11 encontraram-se as equações para encontrar as soluções possíveis de X e Y (Figura 5.12), recorrendo às Equações 5.1 e 5.2.

Tabela 5.10 Cálculo do número de FTEs (pessoa-ano), necessários anualmente à realização de Y-X tratamentos de 3D-CRT à patologia da mama.

Tipologia de RH	FTEs /tratamento (pessoa-dia)	Nº de horas / tratamento	Nº de horas / (Y-X) tratamento	FTEs / (Y-X) tratamentos (pessoa-ano)
Físico Médico	0.05	0.4	0.4*(Y-X)	$(0.4*(Y-X))/1768$
Técnico de radioterapia	0.82	14.6	14.6*(Y-X)	$(14.6*(Y-X))/1768$

Tabela 5.11 Cálculo do número de FTEs (pessoa-ano), necessários anualmente à realização de X tratamentos de IMRT à patologia da mama.

Tipologia de RH	FTEs /tratamento (pessoa-dia)	Nº de horas / tratamento	Nº de horas / X tratamento	FTEs / X tratamentos (pessoa-ano)
Físico Médico	2.20	17.6	17.6*X	$(17.6*X) / 1768$
Técnico de radioterapia	2.80	22.4	22.4*X	$(22.4*X) / 1768$

Físico Médico:

$$\frac{0.4 \times (Y - X)}{1768} + \frac{17.6 \times X}{1768} - 0.1 \leq 0 \quad (\text{Equação 5.1})$$

Técnico de Radioterapia:

$$\frac{14.6 \times (Y - X)}{1768} + \frac{22.4 \times X}{1768} - 3.4 \leq 0 \quad (\text{Equação 5.2})$$

Em que, Y e X são inteiros e maior ou igual a zero.

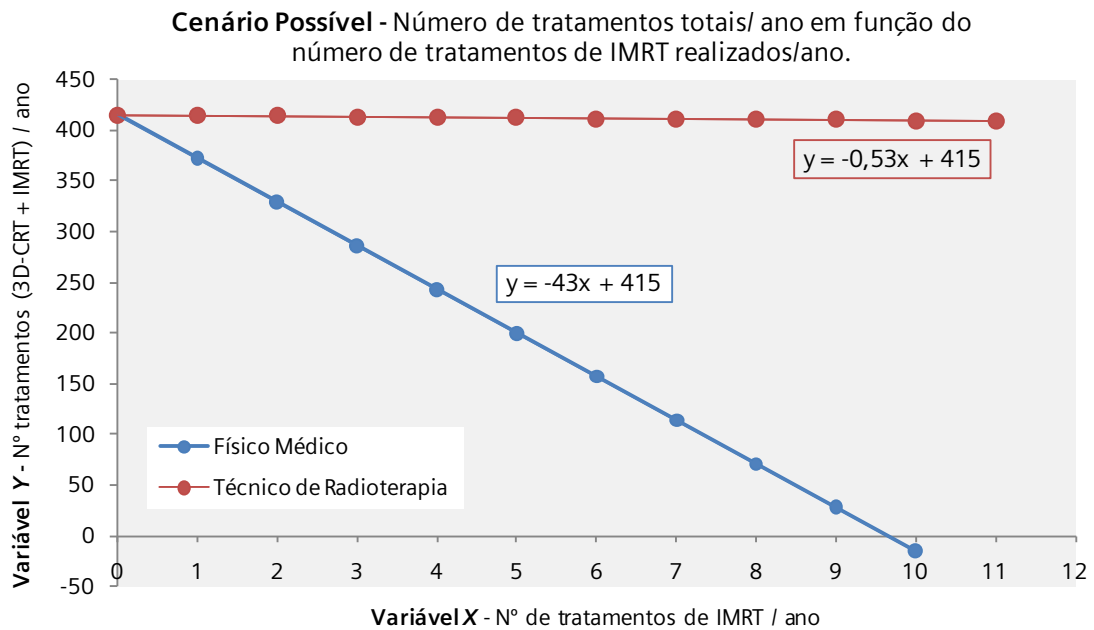


Figura 5.12 Gráfico do número de total de tratamentos (3D-CRT e IMRT) em função do número de tratamentos de IMRT realizados anualmente.

Visto que, o físico é o RH com maior afectação ao fluxo de trabalho de um tratamento de IMRT, este é que vai definir o “valor de corte”. Neste contexto entende-se por “valor de corte” ao valor das variáveis X e Y podem tomar de forma a manter a relação da Figura 5.11 válida. Portanto à medida que se aumenta o número de tratamentos de IMRT (variável X), diminui-se o número total de tratamentos realizados em ambas as técnicas (variável Y) as regressões lineares simples estão graficamente ilustradas na Figura 5.12.

Como se observa na Figura 5.12, são vários os cenários possíveis na realização de IMRT mantendo os FTEs calculados no cenário actual. Contudo, não será uma boa opção diminuir a actividade assistencial do serviço em 43 doentes/ano para cada tratamento de IMRT realizado.

6 Conclusões

A IMRT é uma técnica tecnologicamente complexa. Para a sua implementação é indispensável ter em conta factores económicos, técnicos e logísticos, tais como a necessidade de contratar mais profissionais de saúde, encargos de tempo e adquirir o equipamento necessário.

Com este projecto estimou-se o tempo e respectivo encargo com os RH na realização da técnica IMRT, em detrimento da 3D-CRT. Embora a diferença nos tempos de algumas actividades não sejam significativas, a duração global de um tratamento de IMRT aumenta, sensivelmente, para o dobro, comparativamente, com a técnica conformacional.

Para as três neoplasias em estudo, a IMRT correspondeu a um aumento do tempo de planeamento, essencialmente devido à exigência do planeamento inverso, bem como, da realização da verificação do planeamento individual, etapa específica do *workflow* IMRT. Em média, estas duas actividades consomem cerca de 75% do tempo total do planeamento. Por conseguinte, verifica-se um aumento do tempo do físico, enquanto se constata a diminuição do tempo do dosimetrista, visto já não ser da sua competência a realização do planeamento computadorizado. No entanto, é provável que, com a

padronização dos procedimentos e com a familiarização da técnica, se verifique uma diminuição da duração do mesmo [50], [92].

Quanto à etapa tratamento, esta também sofre um aumento devido, essencialmente, ao acréscimo do tempo do tratamento diário provocado pela exigência do posicionamento, bem como, pelo aumento do tempo de irradiação da técnica *step-and-shoot*. De notar que, estes aumentos provocam um incremento do tempo dedicado pelo técnico de radioterapia em média de 11 horas por doente.

Quanto ao tempo do médico radioterapeuta, na sua generalidade manteve-se praticamente inalterado. Contudo, é necessário ressaltar que nos modelos propostos não se contabilizou a sua presença em algumas actividades como na imobilização, aquisição de imagens e na visualização da imagem EPID. Com a realização de IMRT é expectável que este esteja presente na maioria das actividades, pelo menos numa fase inicial de contacto com a nova técnica.

Das neoplasias em estudo aquela que sofreu um maior aumento do tempo de RH com a realização de IMRT ao invés do 3D-CRT foi a patologia da próstata, seguida da mama e por último a C&P, com um aumento dos custos salariais de aproximadamente 250€, 215€ e 190€ por cada tratamento, respectivamente. Porém, considerando custos estimados associados à diminuição da incidência da taxa de toxicidade com a IMRT, registou-se que em média a diferença de custos por tratamento à próstata diminuía de 250€ para 79€ por tratamento, enquanto para a patologia da mama se verificou um retorno de 77€ na realização de IMRT por tratamento.

Dado que, a neoplasia da mama foi aquela que apresentou no modelo económico realizado, um custo mais favorável, projectaram-se cenários para a sua implementação no Serviço de Radioterapia em estudo. Desta forma concluiu-se que, no cenário ideal, que corresponde à realização de IMRT em cerca de 1/3 dos doentes tratados actualmente, mantendo o volume assistencial, o PCS tem de contratar 1.3 FTEs (pessoa-ano) de físico médico e 0.6 FTEs (pessoa-ano) de técnico de radioterapia. Este cenário implica um incremento do custo anual em 40 010€, apenas considerando os RH. Porém ao ponderar a diminuição da taxa de toxicidade dos doentes que realizam IMRT, esse custo diminui para 6 410€ por ano.

Relativamente, aos cenários que são possíveis realizar com os RH actualmente disponíveis no serviço, verifica-se que existe um compromisso entre o número de tratamentos de IMRT e o volume assistencial do serviço. Verificou-se por cada tratamento de IMRT realizado, diminui-se o volume assistencial em 43 tratamentos por ano. Este compromisso é determinado pela disponibilidade do físico médico, visto que é o RH com maior afectação ao fluxo de trabalho.

Os PCS têm que ter em conta que a realização de IMRT não implica apenas um aumento dos custos para a instituição, é crucial ter em conta que a diminuição dos efeitos adversos da terapêutica a longo prazo, para além de melhorar a qualidade de vida do doente, diminui os custos no sistema nacional de saúde.

6.1 Objectivos realizados

Relativamente ao plano de trabalhos apresentado no início do projecto de mestrado, os objectivos foram cumpridos. A presença *in-loco* num PCS público permitiu consolidar os conhecimentos na área da Radioterapia, em especial enfoque na técnica de IMRT, assim como sistematizar o *workflow* do mesmo. Com o presente estudo, demonstrou-se que apesar de todos os custos que acarreta a realização da técnica de IMRT esta pode ter retorno financeiro a longo prazo com a diminuição dos efeitos adversos da terapia, aliada à melhoria da qualidade de vida do doente. Adicionalmente, verificou-se que para a neoplasia da mama especificamente, a sua implementação no serviço está limitada à disponibilidade do físico e do técnico de radioterapia.

6.2 Outros trabalhos realizados

Durante o período de estágio foram concluídas com êxito quatro formações *e-learning*: *Healthcare Essentials – for New Employees* (12.5 horas); *new@Siemens* (8 horas), Sensibilização Ambiental (1 hora) e *Information Security* (3 horas).

Realizaram-se, ainda, duas apresentações intercalares em Março de 2010 e Junho de 2010, como processo interno da Siemens, sector *Healthcare*, onde se apresentou o trabalho desenvolvido até à data.

6.3 Limitações e recomendações para o trabalho futuro

Este estudo apresenta limitações que devem ser consideradas para uma correcta interpretação dos resultados, bem como, para seu enquadramento.

Em primeiro lugar, é de frisar que o levantamento da duração temporal das actividades não foi realizado com desejado grau de certeza e precisão, visto ser baseada em entrevistas com os intervenientes.

Uma outra limitação evidenciada prendeu-se com a origem dos resultados dos ensaios clínicos utilizados neste projecto - a sua grande maioria descrevem uma realidade Americana, díspar do contexto nacional. No entanto, e por ser a realidade mais documentada, foi a escolhida. Nesta matéria, um exemplo cabal são as taxas de toxicidade consideradas no modelo económico para estimar o NDT, quer para a neoplasia da próstata como para a neoplasia da mama. Ainda neste contexto, o custo estimado do tratamento para cada caso de toxicidade GI tardia foi retirado do relatório do *Institute for Clinical and Economic Review* [89].

Como sugestões para um trabalho futuro, seria interessante continuar a desenvolver os modelos de *workflow* propostos, que obvie ao máximo as limitações atrás referidas.

Desta forma, propõe-se uma medição cronometrada das actividades do parceiro clínico, interagindo o menos possível no fluxo de trabalho dos intervenientes, bem como, a consideração de tempos mortos e deslocações dos respectivos intervenientes.

Apesar de não ser possível ultrapassar a limitação provocada pela escassez de estudos de grande dimensão, que comparam as taxas de toxicidade entre as duas modalidades, em contexto Europeu, seria interessante comparar os dados de *follow up* dos doentes de IMRT C&P do parceiro clínico com ensaios clínicos americanos, numa tentativa de dimensionar as suas divergências. Quanto ao custo associado ao tratamento de cada caso de toxicidade GI tardia, também poderia ser estimado no parceiro clínico, com base na terapêutica adoptada e respectivos custos associados.

No que diz respeito ao modelo económico, poderão também considerar-se outros custos que variam entre as duas técnicas, tais como: (1) custo de implementação da IMRT no serviço, isto é, o investimento inicial; (2) a diferença dos custos anuais das licenças dos softwares (TPS, verificação das MU, entre outros); e (3) custo resultante do desgaste dos equipamentos.

Por último, este projecto poderá contemplar outras neoplasias que a IMRT possa trazer mais-valias para o PCS, assim como a realização de projecção de cenários para a patologia a próstata.

6.4 Apreciação final

A realização deste projecto de Mestrado Integrado em Engenharia Biomédica em contexto empresarial, na Siemens S.A. – Sector *Healthcare* constituiu uma mais-valia na medida em que, permitiu a aplicação dos conhecimentos adquiridos no decurso da formação académica e em simultâneo beneficiar de uma primeira experiência profissional. O acesso a informação específica sobre a radioterapia, a possibilidade de

vivenciar uma realidade hospital, o contacto com o cliente, assim como, a troca de ideias com pessoas no contexto empresarial, contribuiu para o desenvolvimento das competências pessoais. Esta foi uma oportunidade única de desenvolver competências muito para além das adquiridas no estudo da IMRT.

Bibliografia

- [1] J. Ferlay, H. Shin, F. Bray, D. Forman, C. Mathers, e D. Parkin, “Cancer Incidence and Mortality Worldwide: IARC Cancer Base,” *GLOBOCAN 2008*, 2010.
- [2] “Plano Nacional de Prevenção e controle das doenças oncológicas 2007/2010,” Jul. 2009.
- [3] M.D.C. Lopes, C. Alves, e I. Rebelo, *Radioterapia no IPO de Coimbra*, Coimbra: IPO CFG, EPE, 2003.
- [4] R.A.C. Siochi e J.C. celi, “IMRT Basics,” *An Introduction to IMRT*, USA: Siemens Medical Solutions, 2003.
- [5] L. Veldeman, I. Madani, F. Hulstaert, G. De Meerleer, M. Mareel, e W. De Neve, “Evidence behind use of intensity-modulated radiotherapy: a systematic review of comparative clinical studies,” *The Lancet Oncology*, vol. 9, 2008, pp. 367-375.
- [6] A. Araújo, F. Barata, S. Barroso, M. Damasceno, A. Parreira, J. Espírito Santo, E. Teixeira, e R. Pereira, “Custo do Tratamento do Cancro em Portugal,” *Avta Médica Portugal*, vol. 22, Ago. 2009, pp. 525-536.
- [7] E. Pereira, “Avaliac ,” *Revista de Ciências da Saúde da ESSCVP*, vol. 1, Nov. 2009.
- [8] “Serviço de Radioterapia dos H. U. C. (Regulamento).”
- [9] “Clinical Review Criteria: Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT) for Prostate Cancer,” *Group Health Cooperative*, 2010.
- [10] M.D.C. Lopes, “Radioterapia de Intensidade Modulada no IPOCFG, E.P.E.,” *IPOCFG, E.P.E.*, Mar. 2009.
- [11] M.D.C. Lopes, “Um século de: Terapia com Radiação,” *Gazeta de Física: Sociedade Portuguesa de Física*, vol. 30, Jan. 2007, pp. 14-29.
- [12] *Prescribing, Recording, and Reporting Photon Beam Therapy*, Bethesda, USA: Report 50: International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU), 1993.
- [13] *Report 62: Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy (Supplement to ICRU Report 50)*, Bethesda, USA: International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU), 1999.
- [14] “5 GEOMETRIC TERMS, AND DOSE AND DOSE-VOLUME DEFINITIONS,” *International Commission on Radiation Units and Measurements*, vol. 7, 2007, pp. 83-94.
- [15] P. Mayles, A.E. Nahum, e J. Rosenwald, *Handbook of Radiotherapy Physics - Theory and Practice*, CRC Press, 2007.
- [16] J. Lee, I. Das, S. Woo, W. Grant, B. Teh, K. Chiu, e B. Butler, “Intensity Modulated Radiation Therapy: An Introduction for Patients and Clinicians - Part I: Treatment Planning and Delivery,” *OncoLink*, 2002.
- [17] K.S.C. Chao, S. Apisarnthanarax, e G. Ozyigit, *Practical essentials of intensity modulated radiation therapy*, Lippincott Williams & Wilkins, 2005.

- [18] S. Webb e S.W.(. D.), *Contemporary IMRT*, CRC Press, 2004.
- [19] D. Leaver, "Intensity Modulated Radiation Therapy: Part 1," *Radiation Therapist*, vol. 11, Fall. 2002, pp. 106-124.
- [20] A. Ezzell, J. Galvin, D. Low, J. Palta, e I. Rosen, "Guidance document on delivery, treatment planning, and clinical implementation of IMRT: Report of the IMRT subcommittee of the AAPM radiation therapy committee," *Medical Physics*, vol. 30, Ago. 2003, pp. 2089-2115.
- [21] Intensity Modulated Radiation Therapy Collaborative Working Group, "Intensity-modulated radiotherapy: current status and issues of interest," *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, vol. 51, 2001, pp. 880-914.
- [22] A.J. Mundt e J.C. Roeske, *Intensity modulated radiation therapy: a clinical perspective*, PMPH-USA, 2005.
- [23] K. Cheung, "Intensity modulated radiotherapy: advantages, limitations and future developments," *Biomed. Imag. Intervent. J*, vol. 2, 2006, pp. 1-19.
- [24] P. Cherry e A. Duxbury, *Practical Radiotherapy*, John Wiley & Sons, 2009.
- [25] A. Hartford, M. Palisca, T. Eichler, D. Beyer, V. Devineni, G. Ibbott, B. Kavanagh, J. Kent, S. Rosenthal, e C. Schultz, "American Society for Therapeutic Radiology and Oncology (ASTRO) and American College of Radiology (ACR) Practice Guidelines for Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT)," *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, vol. 73, 2009, pp. 9-14.
- [26] C.S. Chui, M.F. Chan, E. Yorke, S. Spirou, e C.C. Ling, "Delivery of intensity-modulated radiation therapy with a conventional multileaf collimator: comparison of dynamic and segmental methods," *Medical Physics*, vol. 28, Dez. 2001, pp. 2441-2449.
- [27] G. Pereira, "Radioterapia de Intensidade Modelada (IMRT)," 2005.
- [28] D. Leaver, "Intensity Modulated Radiation Therapy: Part 2," *Radiation Therapist*, vol. 12, Spring. 2003, pp. 17-32.
- [29] A. Ahnesjö, B. Hårdemark, U. Isacson, e A. Montelius, "The IMRT information process—mastering the degrees of freedom in external beam therapy," *Physics in Medicine and Biology*, vol. 51, 2006, pp. R381-R402.
- [30] T.R. Mackie, T. Holmes, S. Swerdloff, P. Reckwerdt, J.O. Deasy, J. Yang, B. Paliwal, e T. Kinsella, "Tomotherapy: A new concept for the delivery of dynamic conformal radiotherapy," *Medical Physics*, vol. 20, Nov. 1993, pp. 1709-1719.
- [31] A.W. Beavis, "Is tomotherapy the future of IMRT?," *British Journal of Radiology*, vol. 77, 2004, pp. 285-295.
- [32] B.S. Teh, S.Y. Woo, e E.B. Butler, "Intensity modulated radiation therapy (IMRT): a new promising technology in radiation oncology," *The Oncologist*, vol. 4, 1999, pp. 433-442.
- [33] A. Chaves, F. Góngora, e J. Velasco, "Tomotherapy: To setting it up for treatments.," 2009.
- [34] S. Dieterich e T. Pawlicki, "Cyberknife Image-Guided Delivery and Quality Assurance," *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, vol. 71,

- 2008, pp. S126-S130.
- [35] W. Zhen, R.B. Thompson, e C.A. Enke, “Intensity-modulated radiation therapy (IMRT): the radiation oncologist's perspective,” *Medical Dosimetry*, vol. 27, Summer. 2002, pp. 155-159.
 - [36] A.C. Cleto, F.M. Mascaranhas, L.P. Osório, M.D.A. Rito, M.I. Antão, P.F. Fontes, M.J. Lemos, P.S. Costa, P.M. Chinita, e R.M. Asenjo, “Manual de Boas Práticas de Radioterapia,” Jan. 2008.
 - [37] E.B. Podgoršak e I.A.E. Agency, *Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students*, International Atomic Energy Agency, 2005.
 - [38] C. Remedy, “Instrumentos de posicionamento,” 2007.
 - [39] R. Rodrigues, “radioterapia@pt - Planeamento com TAC,” *Radioterapia e Oncologia*, Mai. 2009.
 - [40] a, “Practice Guideline for intensity-modulated radiation therapy (IMRT),” *American Society*, Revised. 2007, pp. 1-7.
 - [41] “The National Cancer Institute Guidelines for the Use of Intensity-Modulated Radiation Therapy in Clinical Trials.”
 - [42] J. Palta, C. Liu, e J. Li, “Quality Assurance of Intensity-Modulated Radiation Therapy,” *International Journal of Radiation OncologyBiologyPhysics*, vol. 71, 2008, pp. S108-S112.
 - [43] L. Furnari, “Controle de qualidade em Radioterapia,”
 , vol. 3, Out. 2009, pp. 77-90.
 - [44] “IPEM Recommendations for the Provision of a Physics Service to Radiotherapy,” Jul. 2009.
 - [45] *Towards Safer Radiotherapy*, Londres: The Royal College of Radiologists: The Royal College of Radiologists, Society and College of Radiographers, Institute of Physics e Engineering in Medicine, 2008.
 - [46] R.G. Parker, C.R. Bogardus, G.E. Hanks, C.G. Onton, e M. Rotman, *Radiation Oncology in Integrated Cancer Management: Report of the Inter-Society Council for Radiation Oncology*, Philadelphia: 1991.
 - [47] K. Kesteloot, Y. Lievens, e E. van der Schueren, “Improved management of radiotherapy departments through accurate cost data,” *Radiotherapy and Oncology: Journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology*, vol. 55, Jun. 2000, pp. 251-262.
 - [48] F.M. Khan, *The Physics of Radiation Therapy*, Lippincott Williams & Wilkins, 2009.
 - [49] S.H. Levitt, L.W. Brady, J.A. Purdy, e C.A. Perez, *Technical Basis of Radiation Therapy: Practical Clinical Applications*, Springer, 2008.
 - [50] V. Murthy, T. Gupta, A. Kadam, S. Ghosh-Laskar, A. Budrukhar, R. Phurailatpam, R. Pai, e J. Agarwal, “Time trial: a prospective comparative study of the time-resource burden for three-dimensional conformal radiotherapy and intensity-modulated radiotherapy in head and neck cancers,” *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, vol. 5, Jun. 2009, pp. 107-112.
 - [51] E.J. Adams, D.J. Convery, V.P. Cosgrove, H.A. McNair, J.N. Staffurth, J.

- Vaarkamp, C.M. Nutting, A.P. Warrington, S. Webb, J. Balyckyi, e D.P. Dearnaley, "Clinical implementation of dynamic and step-and-shoot IMRT to treat prostate cancer with high risk of pelvic lymph node involvement," *Radiotherapy and Oncology: Journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology*, vol. 70, Jan. 2004, pp. 1-10.
- [52] E. Van de Werf, Y. Lievens, J. Verstraete, K. Pauwels, e W. Van den Bogaert, "Time and motion study of radiotherapy delivery: Economic burden of increased quality assurance and IMRT," *Radiotherapy and Oncology: Journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology*, vol. 93, Out. 2009, pp. 137-140.
- [53] M.V. Williams, A.C.F. Hoole, J.C. Dean, S.G. Russell, S.J. Thomas, J. Fairfoul, e N.G. Burnet, "IMRT can be faster to deliver than conformal radiotherapy," *Radiotherapy and Oncology: Journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology*, vol. 95, Mai. 2010, pp. 257-258.
- [54] I.J. Das, V. Moskvina, e P.A. Johnstone, "Analysis of Treatment Planning Time Among Systems and Planners for Intensity-Modulated Radiation Therapy," *Journal of the American College of Radiology*, vol. 6, 2009, pp. 514-517.
- [55] P. Dunscombe, G. Roberts, e J. Walker, "The cost of radiotherapy as a function of facility size and hours of operation," *Br J Radiol*, vol. 72, Jun. 1999, pp. 598-603.
- [56] C.A. Perez, B. Kobeissi, B.D. Smith, S. Fox, P.W. Grigsby, J.A. Purdy, H.D. Procter, e T.H. Wasserman, "Cost accounting in radiation oncology: A computer-based model for reimbursement," *International Journal of Radiation Oncology*Biophysics*, vol. 25, Abr. 1993, pp. 895-906.
- [57] Y. Lievens, W. van den Bogaert, e K. Kesteloot, "Activity-based costing: a practical model for cost calculation in radiotherapy," *International Journal of Radiation Oncology*Biophysics*, vol. 57, Out. 2003, pp. 522-535.
- [58] J. Malicki, M. Litoborski, M. Bogusz-Czerniewicz, e A. Swiezewski, "Cost-effectiveness of the modifications in the quality assurance system in radiotherapy in the example of in-vivo dosimetry," *Physica Medica: PM: An International Journal Devoted to the Applications of Physics to Medicine and Biology: Official Journal of the Italian Association of Biomedical Physics (AIFB)*, vol. 25, Dez. 2009, pp. 201-206.
- [59] A. Oliveira, I. Grillo, M.E. Pereira, e P. Soares, "Radioterapia no Cancro da Próstata," *Acta Urológica*, 2005, pp. 17-25.
- [60] "NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology - Prostate Cancer V.3.2010," Jul. 2010.
- [61] A.L. Potosky, W.W. Davis, R.M. Hoffman, J.L. Stanford, R.A. Stephenson, D.F. Penson, e L.C. Harlan, "Five-year outcomes after prostatectomy or radiotherapy for prostate cancer: the prostate cancer outcomes study," *Journal of the National Cancer Institute*, vol. 96, Set. 2004, pp. 1358-1367.
- [62] A. Heidenreich, G. Aus, C. Abbou, M. Bolla, S. Joniau, V. Matveev, H. Schmid, e Z. Zattoni, "Guidelines on Prostate Cancer," *European Association of Urology*, 2007.
- [63] M. Sanda, R. Dunn, J. Michalski, H. Sandler, L. Northouse, L. Hembroff, X. Lin, T. Greenfield, M. Litwin, e C. Saigal, "Quality of life and satisfaction with

- outcome among prostate-cancer survivors,” *The New England journal of medicine*, vol. 358, 2008, p. 1250.
- [64] A. Zietman, M. DeSilvio, J. Slater, C. Rossi Jr, D. Miller, J. Adams, e W. Shipley, “Comparison of conventional-dose vs high-dose conformal radiation therapy in clinically localized adenocarcinoma of the prostate: a randomized controlled trial,” *Jama*, vol. 294, 2005, p. 1233.
- [65] C. Bui e J. Glassburn, “IMRT for prostate cancer: improving the therapeutic ratio.”
- [66] M. Zelefsky, H. Chan, M. Hunt, Y. Yamada, A. Shippy, e H. Amols, “Long-term outcome of high dose intensity modulated radiation therapy for patients with clinically localized prostate cancer,” *The Journal of urology*, vol. 176, 2006, pp. 1415-1419.
- [67] A. Trofimov, P.L. Nguyen, J.J. Coen, K.P. Doppke, R.J. Schneider, J.A. Adams, T.R. Bortfeld, A.L. Zietman, T.F. Delaney, e W.U. Shipley, “Radiotherapy treatment of early-stage prostate cancer with IMRT and protons: a treatment planning comparison,” *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, vol. 69, Out. 2007, pp. 444-453.
- [68] *Recomendações Terapêuticas para os Tumores malignos do Tracto Geniturinário*, F.Calais da Silva- Grupo Português Génito-Urinário, 2010.
- [69] M.J. Zelefsky, E.J. Levin, M. Hunt, Y. Yamada, A.M. Shippy, A. Jackson, e H.I. Amols, “Incidence of late rectal and urinary toxicities after three-dimensional conformal radiotherapy and intensity-modulated radiotherapy for localized prostate cancer,” *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, vol. 70, Mar. 2008, pp. 1124-1129.
- [70] A. Kirichenko, K. Ruth, E. Horwitz, M. Buyyounousk, D. Chen, e A. Pollack, “Intensity Modulated Radiation Therapy For Prostate Cancer: Preliminary Results On Treatment Morbidity Compared To 3-D Conformal Radiation Therapy.,” Philadelphia: American Society for Therapeutic Radiology and Oncology (ASTRO), 2006.
- [71] A.V. D'Amico, J. Manola, M. Loffredo, A.A. Renshaw, A. DellaCroce, e P.W. Kantoff, “6-Month Androgen Suppression Plus Radiation Therapy vs Radiation Therapy Alone for Patients With Clinically Localized Prostate Cancer: A Randomized Controlled Trial,” *JAMA*, vol. 292, Ago. 2004, pp. 821-827.
- [72] A. Al-Mamgani, W.D. Heemsbergen, S.T.H. Peeters, e J.V. Lebesque, “Role of intensity-modulated radiotherapy in reducing toxicity in dose escalation for localized prostate cancer,” *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, vol. 73, Mar. 2009, pp. 685-691.
- [73] J.M. Michalski, K. Winter, J.A. Purdy, M. Parliament, H. Wong, C.A. Perez, M. Roach, W. Bosch, e J.D. Cox, “Toxicity after three-dimensional radiotherapy for prostate cancer on RTOG 9406 dose Level V,” *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, vol. 62, Jul. 2005, pp. 706-713.
- [74] J.B. Ashman, M.J. Zelefsky, M.S. Hunt, S.A. Leibel, e Z. Fuks, “Whole pelvic radiotherapy for prostate cancer using 3D conformal and intensity-modulated radiotherapy,” *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, vol. 63, Nov. 2005, pp. 765-771.
- [75] M.J. Zelefsky, Z. Fuks, M. Hunt, H.J. Lee, D. Lombardi, C.C. Ling, V.E. Reuter,

- E.S. Venkatraman, e S.A. Leibel, "High dose radiation delivered by intensity modulated conformal radiotherapy improves the outcome of localized prostate cancer," *The Journal of Urology*, vol. 166, Set. 2001, pp. 876-881.
- [76] A.B. Jani, A. Su, D. Correa, e J. Gratzle, "Comparison of late gastrointestinal and genitourinary toxicity of prostate cancer patients undergoing intensity-modulated versus conventional radiotherapy using localized fields," *Prostate Cancer and Prostatic Diseases*, vol. 10, 2007, pp. 82-86.
- [77] M.J. Zelefsky, Z. Fuks, L. Happersett, H.J. Lee, C.C. Ling, C.M. Burman, M. Hunt, T. Wolfe, E.S. Venkatraman, A. Jackson, M. Skwarchuk, e S.A. Leibel, "Clinical experience with intensity modulated radiation therapy (IMRT) in prostate cancer," *Radiotherapy and Oncology*, vol. 55, Jun. 2000, pp. 241-249.
- [78] M.J. Zelefsky, Z. Fuks, M. Hunt, Y. Yamada, C. Marion, C.C. Ling, H. Amols, E.S. Venkatraman, e S.A. Leibel, "High-dose intensity modulated radiation therapy for prostate cancer: early toxicity and biochemical outcome in 772 patients," *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, vol. 53, Ago. 2002, pp. 1111-1116.
- [79] O. Cahlon, M.J. Zelefsky, A. Shippy, H. Chan, Z. Fuks, Y. Yamada, M. Hunt, S. Greenstein, e H. Amols, "Ultra-high dose (86.4 Gy) IMRT for localized prostate cancer: toxicity and biochemical outcomes," *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, vol. 71, Jun. 2008, pp. 330-337.
- [80] M.J. Zelefsky, H. Chan, M. Hunt, Y. Yamada, A.M. Shippy, e H. Amols, "Long-term outcome of high dose intensity modulated radiation therapy for patients with clinically localized prostate cancer," *The Journal of Urology*, vol. 176, Out. 2006, pp. 1415-1419.
- [81] J. Ragaz, I.A. Olivotto, J.J. Spinelli, N. Phillips, S.M. Jackson, K.S. Wilson, M.A. Knowling, C.M.L. Coppin, L. Weir, K. Gelmon, N. Le, R. Durand, A.J. Coldman, e M. Manji, "Locoregional radiation therapy in patients with high-risk breast cancer receiving adjuvant chemotherapy: 20-year results of the British Columbia randomized trial," *Journal of the National Cancer Institute*, vol. 97, Jan. 2005, pp. 116-126.
- [82] T.J. Whelan, J. Julian, J. Wright, A.R. Jadad, e M.L. Levine, "Does locoregional radiation therapy improve survival in breast cancer? A meta-analysis," *Journal of Clinical Oncology: Official Journal of the American Society of Clinical Oncology*, vol. 18, Mar. 2000, pp. 1220-1229.
- [83] "Favourable and unfavourable effects on long-term survival of radiotherapy for early breast cancer: an overview of the randomised trials. Early Breast Cancer Trialists' Collaborative Group," *Lancet*, vol. 355, Mai. 2000, pp. 1757-1770.
- [84] J. Pignol, I. Olivotto, E. Rakovitch, S. Gardner, K. Sixel, W. Beckham, T. Vu, P. Truong, I. Ackerman, e L. Paszat, "A multicenter randomized trial of breast intensity-modulated radiation therapy to reduce acute radiation dermatitis," *Journal of Clinical Oncology*, vol. 26, 2008, p. 2085.
- [85] "NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology - Breast Cancer V.2.2010," Jul. 2010.
- [86] E. Donovan, N. Bleakley, E. Denholm, P. Evans, L. Gothard, J. Hanson, C. Peckitt, S. Reise, G. Ross, G. Sharp, R. Symonds-Tayler, D. Tait, e J. Yarnold, "Randomised trial of standard 2D radiotherapy (RT) versus intensity modulated

- radiotherapy (IMRT) in patients prescribed breast radiotherapy,” *Radiotherapy and Oncology*, vol. 82, Mar. 2007, pp. 254-264.
- [87] D. Gabry's, “IMRT for Breast,” Nov. 2009.
- [88] A. Harsolia, L. Kestin, I. Grills, M. Wallace, S. Jolly, C. Jones, M. Lala, A. Martinez, S. Schell, e F.A. Vicini, “Intensity-Modulated Radiotherapy Results in Significant Decrease in Clinical Toxicities Compared With Conventional Wedge-Based Breast Radiotherapy,” *International Journal of Radiation Oncology*Biology*Physics*, vol. 68, Ago. 2007, pp. 1375-1380.
- [89] S.D. Person, J. Ladopo, e L. Prosser, *Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT) for localized prostate cancer*, Institute for Clinical and Economic Review, 2007.
- [90] R. de Crevoisier, A.D. Melancon, D.A. Kuban, A.K. Lee, R.M. Cheung, S.L. Tucker, R.J. Kudchadker, W.D. Newhauser, L. Zhang, R. Mohan, e L. Dong, “Changes in the Pelvic Anatomy After an IMRT Treatment Fraction of Prostate Cancer,” *International Journal of Radiation Oncology*Biology*Physics*, vol. 68, Ago. 2007, pp. 1529-1536.
- [91] P.J. Keall, M. Chang, S. Benedict, H. Thames, S.S. Vedam, e P. Lin, “Investigating the Temporal Effects of Respiratory-Gated and Intensity-Modulated Radiotherapy Treatment Delivery on In Vitro Survival: An Experimental and Theoretical Study,” *International Journal of Radiation Oncology*Biology*Physics*, vol. 71, Ago. 2008, pp. 1547-1552.
- [92] E.A. Miles, C.H. Clark, M.T.G. Urbano, M. Bidmead, D.P. Dearnaley, K.J. Harrington, R. A'Hern, e C.M. Nutting, “The impact of introducing intensity modulated radiotherapy into routine clinical practice,” *Radiotherapy and Oncology: Journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology*, vol. 77, Dez. 2005, pp. 241-246.
- [93] “COMMON TOXICITY CRITERIA (CTC) Version 2.0,” Abr. 1999.

Anexo 1 Software de planeamento inverso

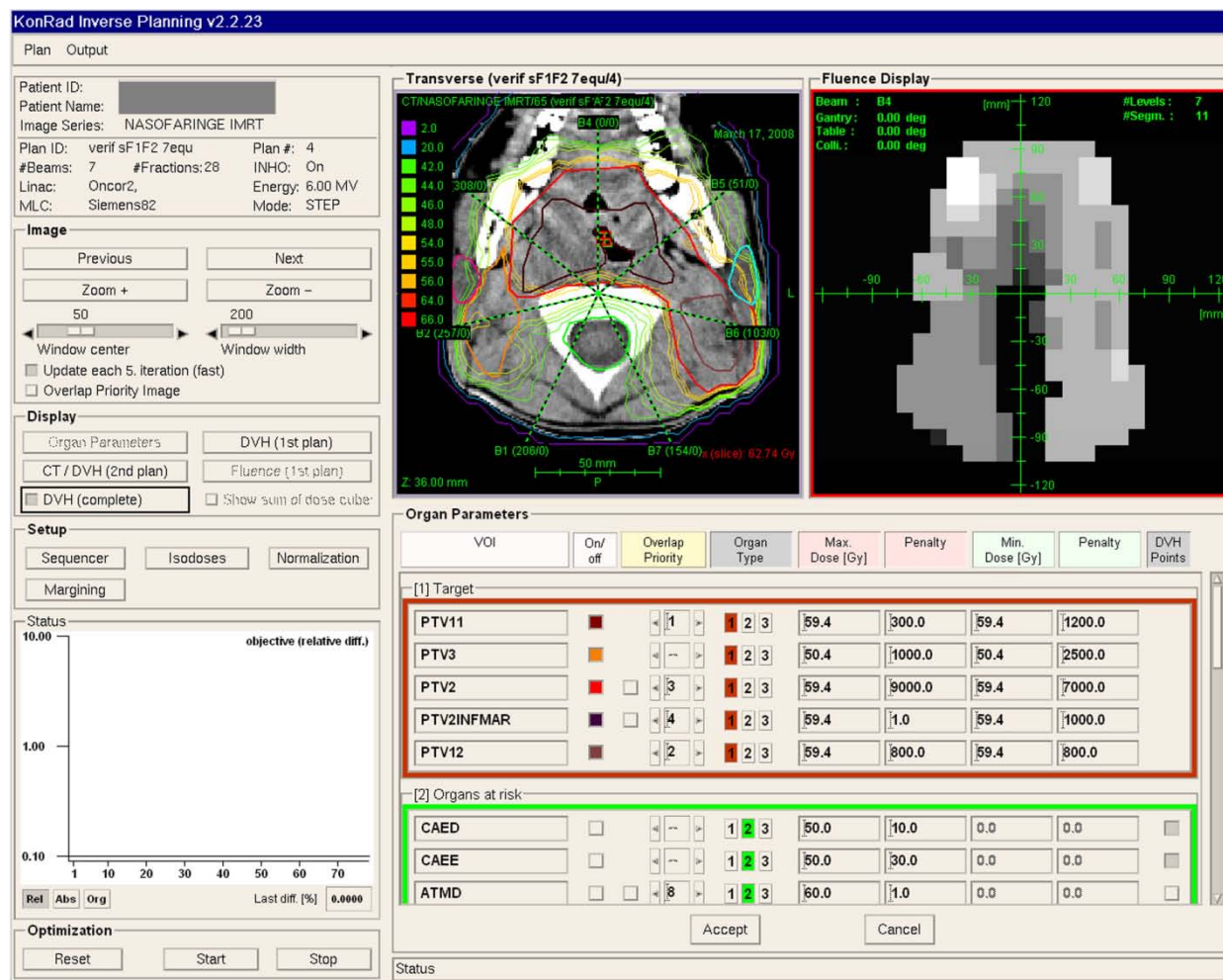


Figura A1.1 Vista do software de planeamento inverso (KonRad™, Siemens Medical Systems), onde se observa os diversos parâmetros clínicos (dose limite, parâmetros de ponderação, restrições de dose-volume) a definir, quer para os diferentes volumes-alvos como para os órgãos críticos, correspondente a um caso clínico de cabeça e pescoço. [10]

Anexo 2 Funções e Responsabilidades dos Recursos Humanos intervenientes no processo de EBRT

Neste anexo pretende-se delinear as qualificações, competências e responsabilidades dos recursos humanos intervenientes num processo de radioterapia externa. Para tal, procedeu-se a uma análise de protocolos e *guidelines*, quer nacionais (Manual de Boas Práticas de Radioterapia [36]) quer internacionais, visando as melhores práticas e a adaptação à realidade nacional.

Do ponto de vista da legislação portuguesa, a responsabilidade clínica de todos os tratamentos efectuados com radiações ionizantes ou desenvolvidos através de materiais radioactivos compete ao Médico Especialista em Radioterapia inscrito na Ordem dos Médicos em Portugal (*artigo 28 do D.L. 180/02*).

É obrigatória a presença física do médico especialista em radioterapia no serviço durante a realização dos tratamentos (*artigo 22 do D.L. 180/02*), assim como, de um físico qualificado em física médica.

A2.1 Responsabilidade do médico especialista em radioterapia

É da responsabilidade do médico especialista em radioterapia que executa o tratamento:

- A avaliação clínica do doente no pré-tratamento;
- A definição da estratégia terapêutica de Radioterapia que garanta melhores resultados em termos de controlo loco-regional e da minimização da toxicidade aguda e tardia (definição da finalidade e requisitos do plano de tratamento, prescrição de dose, imobilização);
- Determinação e delineamento dos volumes tumorais (GTV, CTV e PTV) e OAR, utilizando, preferencialmente, a metodologia proposta pela ICRU;
- Prescrição da dose a administrar ao volume tumoral e dose limite às estruturas e órgãos críticos;
- Determinação e aprovação da imobilização, posicionamento e reposicionamento;
- Avaliação e aprovação do planeamento do tratamento;
- Avaliação clínica da resposta tumoral, da toxicidade e da tolerância durante e após a realização do tratamento;

- Acompanhamento e seguimento clínico do doente após o tratamento de RT;

A2.2 Responsabilidade do físico qualificado em física médica

As responsabilidades do físico devem ser claramente definidas de acordo com as três possíveis áreas de actuação: (1) Dosimetria e controlo da qualidade dos equipamentos; (2) Planimetrias e controlo da qualidade dos tratamentos; e (3) Protecção Radiobiológica.

(1) Dosimetria e controlo da qualidade dos equipamentos:

- Garantir e regular a calibração dos instrumentos de medida e sua gestão;
- Controlo da calibração regular dos sistemas dosimétricos;
- Gestão das manutenções preventivas;
- Delineação e execução dos programas de controlo de qualidade dos equipamentos produtores de radiação e os seus acessórios, na radioterapia externa, sistemas de planimetria computadorizado e cálculo, dos sistemas de imagem e da rede transmissão de dados e imagem;
- Supervisão durante o funcionamento das unidades de tratamento;
- Aquisição dos dados necessários para os sistemas de planimetria;
- Estabelecimento de níveis de referência iniciais ("*commissioning*").

(2) Planimetrias e Controlo da Qualidade dos Tratamentos:

- Supervisão da execução e/ou o controlo dos planeamentos, previamente validados pelo médico especialista em radioterapia;
- Supervisão do sistema de registo e verificação;
- Desenvolvimento e optimização de técnicas de tratamento;
- Validação sob o ponto de vista físico, de novas técnicas de tratamento, incluindo acessórios, simulação e dosimetria;
- Controlo da qualidade dos tratamentos (incluindo medidas em fantasmas antropomórficos, dosimetria *in vivo* e transferência de dados para o sistema de registo e verificação);
- Cálculos de equivalência radiobiológica de acordo com os parâmetros fornecidos pelo médico radioterapeuta.

(3) Protecção Radiológica:

- Controlo das condições de protecção radiológica de toda a unidade assistencial de radioterapia;

- Avaliação da dosimetria individual;
- Monitorização dos níveis de radiação no serviço;
- Elaboração do Programa de Protecção Radiológica;
- Colaboração na preparação e revisão dos planos de emergência;
- Cooperação no planeamento e licenciamento de novas instalações.

(4) Outras áreas de possível actuação:

- Formação e treino (físicos, médicos e técnicos);
- Assessoria na elaboração de cadernos de encargos e selecção de equipamentos;
- Tarefas administrativas e de gestão;
- Investigação e assessoria técnico-científica.

A2.3 Funções dos técnicos de radioterapia

As funções dos técnicos de radioterapia dependem do local em que estão a operar e estendem-se desde o simulador ao LINAC, passando pela execução das dosimetrias e calibrações. De entre as diversas funções destacam-se:

- Execução e/ou controlo dos meios de imobilização e protecção dos doentes, sob a orientação do médico especialista em radioterapia;
- Aquisição de imagens de planeamento, na simulação, sob a orientação do médico especialista em radioterapia;
- Execução/orientação da TAC de planeamento, em colaboração com outras áreas de intervenção, e de acordo com as instruções do médico especialista em radioterapia;
- A realização de um plano dosimétrico, sob a responsabilidade do físico, e de acordo com as especificações do médico especialista em radioterapia;
- O posicionamento/imobilização dos doentes e a execução dos tratamentos previamente aprovados;
- O manuseamento dos equipamentos de terapêutica de radioterapia;
- O registo de todas as falhas, reparações e alterações que detectarem no uso do equipamento, com obrigação de imediata informação desses factos junto do físico responsável;
- A apreciação de queixas inesperadas, súbitos agravamentos ou alterações incomuns no doente em tratamento e que, por esse motivo, obriguem a uma observação imediata pelo médico especialista de radioterapia no sentido de manter ou alterar o plano inicialmente delineado;

- A aquisição de imagens no decurso dos tratamentos para verificação e ajuste dos campos, sob a responsabilidade do respectivo médico de radioterapia;
- A preparação de fontes radioactivas e programação dos equipamentos de *afterloading*;
- A realização de moldes, de acordo com o plano dosimétrico aprovado;
- A calibração e verificação dos diferentes equipamentos de radioterapia, sob orientação do físico;
- A responsabilidade pelo treino e educação técnico-científica dos estudantes quando estes participarem em estágios de treino/aperfeiçoamento.

Anexo 3 Classificação TNM para o estadiamento do cancro da próstata

Tumor primário	TX	Tumor não avaliado ou não avaliável
	T0	Ausência de evidência de tumor primário
	T1	Tumor clinicamente imperceptível, não palpável ou visível através de imagem
	T1a	Tumor por achado histológico incidentalmente em <5% de tecido próstatico ressecado
	T1b	Tumor por achado histológico incidental em >5% de tecido próstatico ressecado
	T1c	Tumor diagnosticado na sequência de elevação do PSA, identificado por biópsia com agulha
	T2	Tumor confinado à próstata
	T2a	Tumor envolvendo até metade de um lóbulo da próstata
	T2b	Tumor envolvendo mais de metade de um lóbulo da próstata (não ambos)
	T2c	Tumor envolvendo ambos os lóbulos da próstata
	T3	Tumor com extensão extraprostática
	T3a	Extensão através da cápsula da próstata
	T3b	Invasão de vesículas seminais
	T4	Tumor fixo ou invadindo estruturas vizinhas (colo vesical, esfíncter uretral externo, recto, parede pélvica ósteo-muscular)
Gânglios Linfáticos	NX	Glânglios linfáticos regionais não avaliados ou não avaliáveis
	N0	Ausência de evidência de compromisso ganglionar regional
	N1	Metastização para gânglios linfáticos regionais
Metástases	MX	Metástases distantes não avaliadas ou não avaliáveis
	M0	Ausência de evidência de metástases à distância
	M1	Metastases à distância
	M1a	Glânglios linfáticos não-regionais
	M1b	Osso
	M1c	Outras localizações

Anexo 4 Classificação TNM para o estadiamento do cancro da mama

Tumor primário	TX	Tumor primário não pode ser avaliado
	T0	Sem evidência do tumor primário
	Tis	Carcinoma in situ: carcinoma intraductal, carcinoma lobular in situ ou doença de Paget do mamilo sem tumor adjacente
	T1	Tumor menor ou igual a 2cm
	T1 mic	Mic microinvasão numa extensão inferior a 1mm
	T1a	Tumor menor que 0,5 cm
	T1b	Tumor maior que 0,5 cm mas menor que 1 cm
	T1c	Tumor maior que 1cm mas menor que 2 cm
	T2	Tumor maior que 2 cm e menor que 5 cm
	T3	Tumor maior que 5 cm
	T4	Tumor de qualquer tamanho com extensão directa para a parede torácica e/ou pele
	T4a	Tumor com extensão à parede torácica
	T4b	Edema (incluindo pele em casca de laranja) ou ulceração da pele ou nódulos cutâneos satélites confinados a mama homolateral
	T4c	T4a + T4b
	T4d	Carcinoma inflamatório
Gânglios Linfáticos	NX	Os gânglios linfáticos regionais não podem ser avaliados
	N0	Sem evidência de metástases em gânglio linfáticos regionais
	N1	Gânglios linfáticos axilares homolaterais metastizados e fixos entre si ou a outras estruturas.
	N2	Gânglios linfáticos axilares homolaterais metastizados da cadeia mamária interna homolateral.
Metástases	MX	As metástases à distância não podem ser avaliadas
	M0	Sem metástases à distância
	M1	Metástases à distância

Anexo 5 Critérios comuns de toxicidade da *National Cancer Institute (NCI) versão 2.0*

Tabela A5.1 Escala de toxicidade aguda da NCI. Adaptado de [93]

		Grau			
Efeito Adverso	0	1	2	3	4
Radiodermite	Nenhum	Atrofia ligeira; mudança na pigmentação; perda de algum cabelo.	Atrofia irregular; telangiectasia moderada; perda total do cabelo.	Atrofia acentuada; telangiectasia acentuada.	Necrose da pele ou ulcerações na espessura da derme.
Dor provocada pela radiação	Nenhum	<u>Dor ligeira</u> que não interfere com a função	<u>Dor moderada:</u> dor ou insensibilidade que interferem com a função, mas não interfere com actividades do quotidiano.	<u>Dor severa:</u> dor ou insensibilidade que interferem severamente com as actividades do quotidiano.	Incapacidade

Tabela A5.2 Escala de classificação da morbilidade tardia provocada pela radiação da RTOG/EORTC. Usada para efeitos adversos ocorridos 90 dias após o tratamento de radioterapia. Adaptado de [93]

		Grau			
Efeito Adverso	0	1	2	3	4
Pele	Nenhum	Atrofia ligeira; mudança na pigmentação; perda de algum cabelo.	Atrofia irregular; telangiectasia moderada; perda total do cabelo.	<u>Dor severa:</u> dor ou insensibilidade que interferem severamente com as actividades do quotidiano.	Necrose da pele ou ulcerações na espessura da derme.

Anexo 6 Terapêutica considerada no tratamento da toxicidade aguda e tardia no carcinoma da mama no Modelo Económico

De acordo com os efeitos adversos provocados pela 3D-CRT e IMRT, em doentes com neoplasia da mama em estágio inicial, relatados no estudo de Harsolia *et al.* [88], estimaram-se os respectivos custos da terapêutica. Recorreu-se, ainda, aos critérios comuns de toxicidade de NCI, que se encontram no Anexo 5.

Tabela A6.1 Terapêutica utilizada, custo unitário e respectiva duração no tratamento da toxicidade tardia e aguda.

Efeitos Adversos Harsolia <i>et al.</i> [88]	Terapêutica utilizada (parceiro clínico)	Custo/unidade	Duração da terapêutica
<i>Efeitos agudos (Grau ≥ 2)</i>			
Radiodermite	Penso	9.00 €	1.5 meses
	Tópico emoliente (ex: trolamina, dexpantenol)	4.81 €	
	Antibacteriano Sulfadiazina de prata	4.44 €	
	Corticoide Betametasona (30g)	3.20 €	
Edema	Anti-inflamatório Ibuprofeno (20 comprimidos)	1.59 €	1.5 meses
Hiperpigmentação	Tópico emoliente ou hidratantes	4.81 €	2 meses
<i>Efeitos tardios (Grau ≥ 2)</i>			
Edema	Anti-inflamatório Ibuprofeno (20 comprimidos)	1.59 €	3 meses

Anexo 7 Workflows do parceiro clínico – workflow 3D-CRT C&P, workflow 3D-CRT próstata, workflow 3D-CRT mama e workflow IMRT C&P.

Na Figura A7.1 encontram-se esquematizadas as actividades e respectivas variáveis (duração das actividades, número e tipologia de RH intervenientes) dos *workflows* de 3D-CRT para as neoplasias da C&P, próstata e mama, bem como o *workflow* de IMRT para a neoplasia de C&P, do PCS em estudo.

A partir destes dados, e assumindo que as sessões de tratamento são realizadas nos 5 dias úteis da semana, de acordo com o número de sessões apresentado na Tabela A7.1, estudou-se e analisou-se os respectivos *workflows* (Figura A7.2, Figura A7.3, Figura A7.4 e Figura A7.5).

Tabela A7.1 Número total de sessões e duração do tratamento dos *workflows* do parceiro clínico.

Workflows do parceiro clínico	Número total de sessões de tratamento	Duração do tratamento
<i>Workflow</i> 3D-CRT – C&P	32	6 Semanas e 2 Dias
<i>Workflow</i> 3D-CRT – Próstata	40	8 Semanas
<i>Workflow</i> 3D-CRT – Mama	25	5 Semanas
<i>Workflow</i> IMRT – C&P	32	6 Semanas e 2 Dias

Num. Tipologia de RH Tempo (minutos)					
Tipologia de RH: E - Enfermeiro TR - Técnico Radioterapeuta D - Dosimetrista F - Físico Médico MR - Médico Radioterapeuta					
		Workflow 3D-CRT C&P	Workflow 3D-CRT Próstata	Workflow 3D-CRT Mama	Workflow IMRT C&P
Avaliação	Acolhimento da equipa de Enfermagem	1E 20 min.			
	1ª Consulta Clínica	1MR 25 min.			
	Acolhimento da equipa de Radioterapia	1TR 15 min.			
Planeamento	IMOBILIZAÇÃO				
	Realização da máscara termoplástica	2TR 15 min.			2TR 17 min.
	AQUISIÇÃO DE IMAGENS				
	Posicionamento / Aquisição da imagem CT e de referência	1TR, 1D 15 min.	1TR, 1D 20 min.	1TR, 1D 30 min.	1TR, 1D 15 min.
	Posicionamento/ Aquisição da imagem MRI				
	CONTORNO				
	Fusão CT com a RM				1MR 10 min.
	Delineamento de estruturas (GVT, PTV, CTV, OARs)	1MR 120 min.	1MR 180 min.	1MR 180 min.	1MR 180 min.
	DOSIMETRIA CLÍNICA				
	Realização do planeamento computadorizado	1F 480 min.	1D 90min.	1D 180 min.	1F 960 min.
	Análise e aprovação da distribuição de dose	1MR 10 min.	1MR 8 min.	1MR 15 min.	1MR 10 min.
	Exportação do planeamento para o Lantis / Registo dos dados geométricos e dosimétricos	1F 15 min.	1D 5 min.	1D 10 min.	1F 15 min.
	Exportação/importação do tratamento para o fantoma e cálculo da dose				1F 10 min.
	SIMULAÇÃO				
	Simulação Convencional			1MR, 2TR 30 min.	
	VERIFICAÇÃO DO PLANEAMENTO				
	Verificação de dose - Programa de MU independente	1F 5 min.	1F 4 min.	1F 4 min.	1F 5 min.
	1ª Autorização (aprovação de cada campono Lantis)	1F 15 min.	1F 15 min.	1F 15 min.	1F 10 min.
	2ª Autorização	1F 5 min.	1F 4 min.	1F 5 min.	1F 4 min.
	Verificação de dose absoluta no Isocentro				
	Irradiação da câmara e ionização				2F 12 min.
	Leitura do valor				1F 1 min.
	Verificação do tratamento planeado em 3 cortes de interesse				
	Irradiação do fantoma homogéneo cilíndrico				2F 12 min.
	Leitura dos 3 filmes				1F 15 min.
	Análise e comparação dos filmes com os cortes definidos				1F 180 min.
	Verificação de dose planar p/cada ângulo de incidência				
	Simular o tratamento no LINAC e leitura da imagem planar				2F 16 min.
Tratamento	TRATAMENTO DIÁRIO				
	Posicionamento – alinhamento do doente	2TR 4 min.	2TR 5 min.	2TR 10 min.	2TR 4 min.
	CQ - EPID	2TR 5 min.	2TR 5 min.	2TR 5 min.	2TR 5 min.
	Irradiação do doente	2TR 5 min.	2TR 3 min.	2TR 4 min.	2TR 9 min.
	Enfermaria	1E 10 min.		1E 10 min.	1E 10 min.
	SEMANALMENTE				
	Consultas de seguimento	1MR 15 min.			
	CT DE CONTROLO				
	Realização da CT de controlo				1TR, 1D 15 min.
	Fusão da CT de planeamento com a CT de controlo				
	Importação do plano para a nova CT				1F 10 min.
	Visualização do plano na nova CT				
	Follow up	Consultas de seguimento	1MR 25 min.		

Figura A7.1 Variáveis dos workflows do parceiro clínico.

Workflow 3D-CRT - C&P

		VARIÁVEIS DO WORKFLOW								
		RH		Tempo da actividade (minutos)	Tempo da tipologia do RH (minutos)	Número de ocorrências	Frequência da actividade	Tempo ao longo do tratamento (minutos)	Tempo ao longo do tratamento * RH (minutos)	
Número	Tipologia									
AVALIAÇÃO	Acolhimento da equipa de Enfermagem	1	E	20	20	1	S/frequência	20	20	
	1ª Consulta clínica	1	MR	25	25	1	S/frequência	25	25	
	Acolhimento da equipa de radioterapia	1	TR	15	15	1	S/frequência	15	15	
PLANEAMENTO	Imobilização	2	TR	15	30	1	S/frequência	15	30	
	Aquisição de imagens	1	TR	15	15	1	S/frequência	15	15	
		Aquisição de imagens de CT/Aquisição da imagem de referência	1	D	15	15	1	S/frequência	15	15
	Contorno	1	MR	120	120	1	S/frequência	120	120	
	Dosimetria Clínica	1	F	480	480	1	S/frequência	480	480	
		Análise e aprovação da distribuição de dose	1	MR	10	10	1	S/frequência	10	10
		Exportação do planeamento para o Lantis/ Registo dos dados geométricos e dosimétricos do tratamento	1	F	15	15	1	S/frequência	15	15
	Verificação do planeamento	1	F	5	5	1	S/frequência	5	5	
		1ª Autorização - aprovação do lantis de cada campo de tratamento	1	F	15	15	1	S/frequência	15	15
		2ª Autorização	1	F	5	5	1	S/frequência	5	5
TRATAMENTO	Tratamento Diário	2	TR	4	8	32	Diário (5 dias/semana)	128	256	
		2	TR	5	10	9	Semanal	45	90	
		2	TR	5	10	32	Diário (5 dias/semana)	160	320	
		1	E	10	10	32	Diário (5 dias/semana)	320	320	
	Semanalmente	1	MR	15	15	7	Semanal	105	105	
	* O controlo de qualidade EPID é realizado nos primeiros 3 dias do tratamento e depois semanalmente.									
FOLLOW UP	Follow up	1	MR	25	25	4	Trimestral	100	100	
		1	MR	25	25	4	Semestral	100	100	
		1	MR	25	25	0	Anual	0	0	

Figura A7.2 Estudo e análise do workflow 3D-CRT da neoplasia da C&P do parceiro clínico.

Workflow 3D-CRT - Próstata							
		VARIÁVEIS DO WORKFLOW					
		RH Número Tipologia	Tempo da actividade (minutos)	Tempo da tipologia do RH (minutos)	Número de ocorrências	Frequência da actividade	Tempo ao longo do tratamento (minutos)
AVALIAÇÃO	Acolhimento da equipa de Enfermagem	1 E	20	20	1	S/frequência	20
	1ª Consulta clínica	1 MR	25	25	1	S/frequência	25
	Acolhimento da equipa de radioterapia	1 TR	15	15	1	S/frequência	15
PLANEAMENTO	Aquisição de imagens	1 TR	20	20	1	S/frequência	20
	Aquisição da imagem de CT	1 D	20	20	1	S/frequência	20
	Aquisição da imagem de referência						
	Contorno	1 MR	180	180	1	S/frequência	180
	Dosimetria Clínica	1 D	90	90	1	S/frequência	90
	Análise e aprovação da distribuição de dose	1 MR	5	5	1	S/frequência	5
	Exportação do planeamento para o Lantis/ Registo dos dados geométricos e dosimétricos do tratamento	1 D	5	5	1	S/frequência	5
	Verificação do planeamento	1 F	4	4	1	S/frequência	4
TRATAMENTO	Tratamento Diário	2 TR	5	10	40	Diário (5 dias/semana)	200
	Controlo de qualidade - EPID - Imagem portal a 2D*	2 TR	5	10	10	Semanal	50
	Irradiação do doente	2 TR	3	6	40	Diário (5 dias/semana)	120
	Semanalmente	1 MR	15	15	8	Semanal	120
	Consultas de seguimento						
FOLLOW UP	Follow up	1 MR	25	25	6	Trimestral	150
	Consultas de seguimento - 2ª Fase	1 MR	25	25	30	Semestral	750
	Consultas de seguimento - 3ª Fase	1 MR	25	25	0	Anual	0

Figura A7.3 Estudo e análise do workflow 3D-CRT da neoplasia da próstata do parceiro clínico.

Workflow 3D-CRT - Mama

		VARIÁVEIS DO WORKFLOW									
		RH		Tempo da actividade (minutos)	Tempo da tipologia do RH (minutos)	Número de ocorrências	Frequência da actividade	Tempo ao longo do tratamento (minutos)	Tempo ao longo do tratamento * RH (minutos)		
		Número	Tipologia								
AVALIAÇÃO											
	Acolhimento da equipa de Enfermagem	1	E	20	20	1	S/frequência	20	20		
	1ª Consulta clínica	1	MR	25	25	1	S/frequência	25	25		
	Acolhimento da equipa de radioterapia	1	TR	15	15	1	S/frequência	15	15		
PLANEAMENTO	Aquisição de imagens	Posicionamento		1	TR	30	30	1	S/frequência	30	30
		Aquisição de imagens de CT/Aquisição da imagem de referência		1	D	30	30	1	S/frequência	30	30
	Contorno	Delineamento de estruturas		1	MR	180	180	1	S/frequência	180	180
	Dosimetria Clínica	Realização do planeamento directo computadorizado		1	D	180	180	1	S/frequência	180	180
		Análise e aprovação da distribuição de dose		1	MR	15	15	1	S/frequência	15	15
		Exportação do planeamento para o Lantis/ Registo dos dados geométricos e dosimétricos do tratamento		1	D	10	10	1	S/frequência	10	10
	Simulação	Simulação Convencional		2	TR	30	60	1	S/frequência	30	60
				1	MR	30	30	1	S/frequência	30	30
	Verificação do planeamento	Verificação de dose através de um sistema independente de verificação das UM		1	F	4	4	1	S/frequência	4	4
		1ª Autorização - aprovação do lantis de cada campo de tratamento		1	F	15	15	1	S/frequência	15	15
		2ª Autorização		1	F	5	5	1	S/frequência	5	5
TRATAMENTO	Tratamento Diário	Posicionamento - alinhamento do doente		2	TR	10	20	25	Diário (5 dias/semana)	250	500
		Controlo de qualidade - EPID - Imagem portal a 2D *		2	TR	5	10	7	Semanal	35	70
		Irradiação do doente		2	TR	4	8	25	Diário (5 dias/semana)	100	200
		Enfermaria		1	E	10	10	25	Diário (5 dias/semana)	250	250
	Semanalmente	Consultas de seguimento		1	MR	15	15	5	Semanal	75	75
* O controlo de qualidade EPID é realizado nos primeiros 3 dias do tratamento e depois semanalmente.											
FOLLOW UP	Follow up	Consultas de seguimento - 1ª Fase		1	MR	25	25	6	Semestral	150	150
		Consultas de seguimento - 2ª Fase		1	MR	25	25	60	Anual	1500	1500
		Consultas de seguimento - 3ª Fase		1	MR	25	25	0	Anual	0	0

Figura A7.4 Estudo e análise do workflow 3D-CRT da neoplasia da mama do parceiro clínico.

Workflow IMRT - C&P		VARIÁVEIS DO WORKFLOW								
		RH		Tempo da actividade (minutos)	Tempo da tipologia do RH (minutos)	Número de ocorrências	Frequência da actividade	Tempo ao longo do tratamento (minutos)	Tempo ao longo do tratamento * RH (minutos)	
		Número	Tipologia							
AVALIAÇÃO	Acolhimento da equipa de Enfermagem	1	E	20	20	1	Sífreqüência	20	20	
	1ª Consulta clínica	1	MR	25	25	1	Sífreqüência	25	25	
	Acolhimento da equipa de radioterapia	1	TR	15	15	1	Sífreqüência	15	15	
PLANEAMENTO	Imobilização	2	TR	17	34	1	Sífreqüência	17	34	
	Aquisição de imagens	1	TR	15	15	1	Sífreqüência	15	15	
		Aquisição de imagens de CT/Aquisição da imagem de referência	1	D	15	15	1	Sífreqüência	15	15
		Posicionamento						Sífreqüência		
	Aquisição de imagens de RM						Sífreqüência			
	Contorno	1	MR	190	190	1	Sífreqüência	190	190	
	Dosimetria Clínica	Realização do planeamento inverso computadorizado	1	F	960	960	1	Sífreqüência	960	960
		Análise e aprovação da distribuição de dose	1	MR	10	10	1	Sífreqüência	10	10
		Exportação do planeamento para o Lantisl Registo dos dados geométricos e dosimétricos do tratamento	1	F	15	15	1	Sífreqüência	15	15
		Exportação/importação do tratamento para o fantoma e calculo da dose	1	F	10	10	1	Sífreqüência	10	10
								Sífreqüência		
	Verificação do planeamento	Verificação de dose através de um sistema independente de verificação das UM	1	F	5	5	1	Sífreqüência	5	5
		1ª Autorização - aprovação do lantis/ de cada campo de tratamento	1	F	10	10	1	Sífreqüência	10	10
		2ª Autorização	1	F	4	4	1	Sífreqüência	4	4
	Verificação do planeamento	1. Verificação de dose absoluta no isocentro								
		Irradiação da câmara de ionização	2	F	12	24	1	Sífreqüência	12	24
		Leitura do valor em excel	1	F	1	1	1	Sífreqüência	1	1
		2. Verificação do tratamento planeado em 3 cortes de interesse								
Irradiação do fantoma homogénio cilíndrico (filmes em 3 cortes)		2	F	12	24	1	Sífreqüência	12	24	
Leitura dos 3 filmes		1	F	15	15	1	Sífreqüência	15	15	
Análise e comparação dos filmes com os cortes definidos		1	F	180	180	1	Sífreqüência	180	180	
3. Verificação de dose planar para cada angulo de incidencia										
Simulação o tratamento no LINAC e leitura da imagem planar no EPID		2	F	16	32	1	Sífreqüência	16	32	
TRATAMENTO	Tratamento Diário	Posicionamento - alinhamento do doente	2	TR	4	8	32	Diário (5 dias/semana)	128	256
		Controlo de qualidade - EPID - Cone Beam 3D*	2	TR	5	10	9	Semanal	45	90
		Irradiação do doente	2	TR	9	18	34	Diário (5 dias/semana)	306	612
		Enfermaria	1	E	10	10	32	Diário (5 dias/semana)	320	320
	Semanalmente	Consultas de seguimento	1	MR	15	15	7	Semanal	105	105
	3ª semana de tratamento	CT de controlo	1	TR	15	15	1	Sífreqüência	15	15
		Fusão da TC antiga com a TC nova	1	D	15	15	1	Sífreqüência	15	15
		Importação do plano aprovado para a nova TC								
		Visualização da distribuição de dose na nova TC	1	F	10	10	1	Sífreqüência	10	10
FOLLOW UP	Follow up	Consultas de seguimento - 1ª Fase	1	MR	25	25	4	Trimestral	100	100
		Consultas de seguimento - 2ª Fase	1	MR	25	25	4	Semestral	100	100
		Consultas de seguimento - 3ª Fase	1	MR	25	25	0	Anual	0	0

Figura A7.5 Estudo e análise do workflow IMRT da neoplasia da C&P do parceiro clínico.

Anexo 8 Conjunto de actividade(s) agrupada(s) em procedimentos, para o *workflow* de 3D-CRT e IMRT

Tabela A8.1 Procedimentos considerados na análise dos *workflows* da técnica 3D-CRT.

Workflows de 3D-CRT	
Procedimentos	Actividades agrupadas
<i>Etapa "Planeamento":</i>	
Máscara de imobilização	<ul style="list-style-type: none"> Realização de máscaras termoplásticas de imobilização
Aquisição de Imagens CT	<ul style="list-style-type: none"> Posicionamento Aquisição de imagens CT/Aquisição de imagem de referência
Contorno	<ul style="list-style-type: none"> Delineamento de estruturas
Dosimetria Clínica	<ul style="list-style-type: none"> Realização do planeamento directo computadorizado Análise e aprovação da distribuição de dose Exportação do planeamento para o Lantis/ Registo dos dados geométricos e dosimétricos do tratamento
Simulação	<ul style="list-style-type: none"> Simulação Convencional
Verificação do planeamento	<ul style="list-style-type: none"> Verificação de dose através de um sistema independente de verificação das UM 1ª Autorização - aprovação do Lantis de cada campo de tratamento 2ª Autorização
<i>Etapa "Tratamento":</i>	
Posicionamento	<ul style="list-style-type: none"> Posicionamento - alinhamento do doente
CQ-EPID	<ul style="list-style-type: none"> Controlo de qualidade - EPID - Imagem portal a 2D
Irradiação do doente	<ul style="list-style-type: none"> Irradiação do doente
Enfermaria	<ul style="list-style-type: none"> Enfermaria
Consultas de seguimento	<ul style="list-style-type: none"> Consultas de seguimento semanais

Tabela A8. 2 Procedimentos considerados na análise dos *workflows* da técnica IMRT.

Workflows de IMRT	
Procedimentos	Actividades agrupadas
<i>Etapa "Planeamento":</i>	
Máscara de imobilização	<ul style="list-style-type: none"> Realização de máscaras termoplásticas de imobilização
Preparação do tratamento	<ul style="list-style-type: none"> Colocação de 3 sementes fiduciais por US
Aquisição de Imagens CT	<ul style="list-style-type: none"> Posicionamento Aquisição de imagens CT/Aquisição de imagem de referência
Contorno	<ul style="list-style-type: none"> Fusão de imagens (CT+ MRI) Delineamento de estruturas
Dosimetria Clínica	<ul style="list-style-type: none"> Realização do planeamento inverso computadorizado Análise e aprovação da distribuição de dose Exportação do planeamento para o Lantis/ Registo dos dados geométricos e dosimétricos do tratamento Exportação/importação do tratamento para o fantoma e cálculo da dose
Verificação do planeamento	<ul style="list-style-type: none"> Verificação de dose através de um sistema independente de verificação das UM 1ª Autorização - aprovação do Lantis de cada campo de tratamento 2ª Autorização
Verificação do planeamento individual	<p>Verificação de dose absoluta no isocentro:</p> <ul style="list-style-type: none"> Irradiação da câmara de ionização Leitura do valor <p>Verificação do tratamento planeado em 3 cortes de interesse:</p> <ul style="list-style-type: none"> Irradiação do fantoma homogénio cilíndrico (filmes em 3 cortes) Leitura dos 3 filmes Análise e comparação dos filmes com os cortes definidos <p>Verificação de dose planar para cada ângulo de incidência:</p> <ul style="list-style-type: none"> Simular o tratamento no LINAC e leitura da imagem planar no EPID
<i>Etapa "Tratamento":</i>	
Posicionamento	<ul style="list-style-type: none"> Posicionamento - alinhamento do doente
CQ-EPID	<ul style="list-style-type: none"> Controlo de qualidade - IGRT (EPID - Imagem portal a 3D/ Sistema de Gating)
Irradiação do doente	<ul style="list-style-type: none"> Irradiação do doente
Enfermaria	<ul style="list-style-type: none"> Enfermaria
Consultas de seguimento	<ul style="list-style-type: none"> Consultas de seguimento semanais
CT de controlo	<ul style="list-style-type: none"> Realização da CT de controlo Fusão da TC antiga com a TC nova Importação do plano aprovado para a nova CT Visualização da distribuição de dose na nova CT

Anexo 9 Modelos de *workflow* de IMRT – *workflow* próstata e *workflow* mama.

Na Figura A9.1 encontram-se esquematizadas as actividades e respectivas variáveis (duração das actividades, número e tipologia de RH intervenientes) dos modelos de *workflows* de IMRT para as neoplasias da próstata e mama. Para facilitar a sua análise acrescentou-se novamente o *workflow* de IMRT para a neoplasia de C&P do PCS em estudo.

A partir destes dados, e assumindo que as sessões de tratamento são realizadas nos 5 dias úteis da semana, de acordo com o número de sessões apresentado na Tabela A9.1, estudou-se e analisou-se os respectivos *workflows* (Figura A9.2 e Figura A9.3).

Tabela A9.1 Número total de sessões e duração do tratamento considerados nos modelos de *workflows* de IMRT.

Modelos de <i>Workflows</i> de IMRT	Número total de sessões de tratamento	Duração do tratamento
<i>Workflow</i> IMRT – Próstata	39 [60]	7 Semanas e 4 Dias
<i>Workflow</i> IMRT – Mama	25 [86]	5 Semanas

Num. Tipologia de RH Tempo (minutos)				
Tipologia de RH: E - Enfermeiro TR - Técnico Radioterapeuta D - Dosimetrista F - Físico Médico MR - Médico Radioterapeuta UM - Médico Urologista				
Avaliação	Acolhimento da equipa de Enfermagem	1E 20 min.		
	1ª Consulta Clínica	1MR 25 min.		
	Acolhimento da equipa de Radioterapia	1TR 15 min.		
Planeamento	PREPARAÇÃO DO TRATAMENTO			
	Colocação de 3 sementes fiduciais por US	1MU 17 min.		
	IMOBILIZAÇÃO			
	Realização da máscara termoplástica	2TR 15 min.		
	AQUISIÇÃO DE IMAGENS			
	Posicionamento/ Aquisição da imagem CT e de referência	1TR, 1D 15 min.	1TR, 1D 27 min.	1TR, 1D 40 min.
	Posicionamento/ Aquisição da imagem MRI			
	CONTORNO			
	Fusão CT com a RM	1MR 10 min.	1MR 10 min.	1MR 10 min.
	Delineamento de estruturas (GVT, PTV, CTV, OARs)	1MR 180 min.	1MR 180 min.	1MR 180 min.
	DOSIMETRIA CLÍNICA			
	Realização do planeamento inverso computorizado	1F 960 min.	1F 360 min.	1F 720 min.
	Análise e aprovação da distribuição de dose	1MR 10 min.	1MR 8 min.	1MR 15 min.
	Exportação do planeamento para o Lantis / Registo dos dados geométricos e dosimétricos	1F 15 min.	1F 5 min.	1F 10 min.
	Exportação/importação do tratamento para o fantoma e cálculo da dose	1F 10 min.	1F 10 min.	1F 10 min.
	VERIFICAÇÃO DO PLANEAMENTO			
	Verificação de dose - Programa de MU independente	1F 5 min.	1F 10 min.	1F 15 min.
	1ª Autorização (aprovação de cada campo no Lantis)	1F 10 min.	1F 15 min.	1F 10 min.
	2ª Autorização	1F 4 min.	1F 1 min.	1F 1 min.
	Verificação de dose absoluta no isocentro			
	Irradiação da câmara e ionização	2F 12 min.	2F 4 min.	2F 4 min.
	Leitura do valor	1F 1 min.	1F 1 min.	1F 1 min.
	Verificação do tratamento planeado em 3 cortes de interesse			
	Irradiação do fantoma homogéneo cilíndrico	2F 12 min.	2F 10 min.	2F 15 min.
	Leitura dos 3 filmes	1F 15 min.	1F 15 min.	1F 15 min.
	Análise e comparação dos filmes com os cortes definidos	1F 180 min.	1F 180 min.	1F 180 min.
	Verificação de dose planar p/cada ângulo de incidência			
	Simular o tratamento no LINAC e leitura da imagem planar	2F 16 min.	2F 16 min.	2F 16 min.
Tratamento	TRATAMENTO DIÁRIO			
	Posicionamento – alinhamento do doente	2TR 4 min.	2TR 12 min.	2TR 8 min.
	CQ - EPID	2TR 5 min.	2TR 5 min.	2TR 5 min.
	Irradiação do doente	2TR 9 min.	2TR 7 min.	2TR 12 min.
	Enfermaria	1E 10 min.		1E 10 min.
	SEMANALMENTE			
	Consultas de seguimento	1MR 15 min.		
	CT DE CONTROLO			
	Realização da CT de controlo	1TR, 1D 15 min.	1TR, 1D 27 min.	1TR, 1D 40 min.
	Fusão da CT de planeamento com a CT de controlo			
Importação do plano para a nova CT	1F 10 min.	1F 10 min.	1F 10 min.	
Visualização do plano na nova CT				
Follow up	Consultas de seguimento	1MR 25 min.		

Figura A9.1 Variáveis dos modelos de workflows de IMRT.

Workflow IMRT - Próstata					VARIÁVEIS DO WORKFLOW					
AVALIAÇÃO			RH		Tempo da actividade	Tempo da tipologia do RH	Número de ocorrências	Frequência da actividade	Tempo ao longo do tratamento	Tempo ao longo do tratamento * RH
	Número	Tipologia								
		Acolhimento da equipa de Enfermagem	1	E	20	20	1	S/frequência	20	20
	1ª Consulta clínica	1	MR	25	25	1	S/frequência	25	25	
	Acolhimento da equipa de radioterapia	1	TR	15	15	1	S/frequência	15	15	
PLANEAMENTO	Preparação do tratamento	Colocação de 3 sementes fiduciais por US	1	MR	30	30	1	S/frequência	30	30
	Aquisição de imagens	Posicionamento	1	TR	27	27	1	S/frequência	27	27
		Aquisição de imagens de CT/Aquisição da imagem de referência	1	D	27	27	1	S/frequência	27	27
		Posicionamento								
		Aquisição de imagens de RM						S/frequência		
	Contorno	Delineamento de estruturas	1	MR	190	190	1	S/frequência	190	190
	Dosimetria Clínica	Realização do planeamento inverso computadorizado	1	F	360	360	1	S/frequência	360	360
		Análise e aprovação da distribuição de dose	1	MR	8	8	1	S/frequência	8	8
		Exportação do planeamento para o Lantis/ Registo dos dados geométricos e dosimétricos do tratamento	1	F	5	5	1	S/frequência	5	5
		Exportação/importação do tratamento para o fantoma e calculo da dose	1	F	10	10	1	S/frequência	10	10
	Verificação do planeamento	Verificação de dose através de um sistema independente de verificação das UM	1	F	4	4	1	S/frequência	4	4
		1ª Autorização - aprovação do lantis de cada campo de tratamento	1	F	15	15	1	S/frequência	15	15
		2ª Autorização	1	F	4	4	1	S/frequência	4	4
	Verificação do planeamento	1. Verificação de dose absoluta no isocentro								
		Irradiação da câmara de ionização	2	F	10	20	1	S/frequência	10	20
		Leitura do valor em excel	1	F	1	1	1	S/frequência	1	1
		2. Verificação do tratamento planeado em 3 cortes de interesse								
		Irradiação do fantoma homogénio cilíndrico (filmes em 3 cortes)	2	F	10	20	1	S/frequência	10	20
		Leitura dos 3 filmes	1	F	15	15	1	S/frequência	15	15
Análise e comparação dos filmes com os cortes definidos		1	F	180	180	1	S/frequência	180	180	
3. Verificação de dose planar para cada angulo de incidencia										
	Simulação o tratamento no LINAC e leitura da imagem planar no EPID	2	F	16	32	1	S/frequência	16	32	
TRATAMENTO	Tratamento Diário	Posicionamento - alinhamento do doente	2	TR	12	24	39	Diário (5 dias/semana)	468	936
		Controlo de qualidade - EPID - Cone Beam 3D	2	TR	5	10	39	Diário (5 dias/semana)	195	390
		Irradiação do doente	2	TR	7	14	39	Diário (5 dias/semana)	273	546
	Semanalmente	Consultas de seguimento	1	MR	15	15	8	Semanal	120	120
	3ª semana de tratamento	TAC de controlo	1	TR	27	27	1	S/frequência	27	27
			D	27	27	1	S/frequência	27	27	
		Fusão da TC antiga com a TC nova	1	F	10	10	1	S/frequência	10	10
	Importação do plano aprovado para a nova TC									
	Visualização da distribuição de dose na nova TC									
FOLLOW UP	Follow up	Consultas de seguimento - 1ª Fase	1	MR	25	25	6	Trimestral	150	150
		Consultas de seguimento - 2ª Fase	1	MR	25	25	30	Semestral	750	750
		Consultas de seguimento - 3ª Fase	1	MR	25	25	0	Anual	0	0

Figura A9.2 Estudo e análise do modelo de workflow IMRT para a neoplasia da próstata.

Workflow IMRT da Mama

		VARIÁVEIS DO WORKFLOW							
		RH		Tempo da actividade (minutos)	Tempo da tipologia do RH (minutos)	Número de ocorrências	Frequência da actividade	Tempo ao longo do tratamento (minutos)	Tempo ao longo do tratamento * RH (minutos)
		Número	Tipologia						
AVALIAÇÃO		Acolhimento da equipa de Enfermagem	1 E	20	20	1	S/frequência	20	20
		1ª Consulta clínica	1 MR	25	25	1	S/frequência	25	25
		Acolhimento da equipa de radioterapia	1 TR	15	15	1	S/frequência	15	15
PLANEAMENTO	Aquisição de imagens	Posicionamento	1 TR	40	40	1	S/frequência	40	40
		Aquisição de imagens de CT/Aquisição da imagem de referência	1 D	40	40	1	S/frequência	40	40
	Contorno	Delineamento de estruturas	1 MR	190	190	1	S/frequência	190	190
	Dosimetria Clínica	Realização do planeamento inverso computadorizado	1 F	720	720	1	S/frequência	720	720
		Análise e aprovação da distribuição de dose	1 MR	15	15	1	S/frequência	15	15
		Exportação do planeamento para o Lantis/ Registo dos dados geométricos e dosimétricos do tratamento	1 F	10	10	1	S/frequência	10	10
		Exportação/importação do tratamento para o fantoma e calculo da dose	1 F	10	10	1	S/frequência	10	10
	Verificação do planeamento	Verificação de dose através de um sistema independente de verificação das UM	1 F	4	4	1	S/frequência	4	4
		1ª Autorização - aprovação do lantis de cada campo de tratamento	1 F	10	10	1	S/frequência	10	10
		2ª Autorização	1 F	4	4	1	S/frequência	4	4
	Verificação do planeamento	1. Verificação de dose absoluta no isocentro - câmara de ionização							
		Irradiação da câmara de ionização	2 F	15	30	1	S/frequência	15	30
		Leitura do valor em excel	1 F	1	1	1	S/frequência	1	1
		2. Verificação do tratamento planeado em 3 cortes de interesse							
Irradiação do fantoma homogénio cilíndrico (filmes em 3 cortes)		2 F	15	30	1	S/frequência	15	30	
Leitura dos 3 filmes		1 F	15	15	1	S/frequência	15	15	
	Análise e comparação dos filmes com os cortes definidos	1 F	180	180	1	S/frequência	180	180	
	3. Verificação de dose planar para cada angulo de incidência-								
	Simulação o tratamento no LINAC e leitura da imagem planar no EPID	2 F	16	32	1	S/frequência	16	32	
TRATAMENTO	Tratamento Diário	Posicionamento - alinhamento do doente	2 TR	8	16	25	Diário (5 dias/semana)	200	400
		Controlo de qualidade - Sistema de Gating	2 TR	5	10	25	Diário (5 dias/semana)	125	250
		Irradiação do doente	2 TR	12	24	25	Diário (5 dias/semana)	300	600
		Enfermaria	1 E	10	10	25	Diário (5 dias/semana)	250	250
	Semanalmente	Consultas de seguimento	1 MR	15	15	5	Semanal	75	75
	3ª semana de tratamento	TAC de controlo	1 TR	40	40	1	S/frequência	40	40
		Fusão da TC antiga com a TC nova	1 D	40	40	1	S/frequência	40	40
		Importação do plano aprovado para a nova TC	1 F	10	10	1	S/frequência	10	10
	Visualisação da distribuição de dose na nova TC								
FOLLOW UP	Follow up	Consultas de seguimento - 1ª Fase	1 MR	25	25	6	Semestral	150	150
		Consultas de seguimento - 2ª Fase	1 MR	25	25	60	Anual	1500	1500
		Consultas de seguimento - 3ª Fase	1 MR	25	25	0	Anual	0	0

Figura A9.3 Estudo e análise do modelo de workflow IMRT para a neoplasia da mama.

Anexo 10 Modelo Económico – Estimativa de custos inerentes à realização de IMRT ao invés de 3D-CRT no Serviço de Radioterapia em estudo.

Para contabilizar a diferença de custos inerentes à realização de IMRT, em vez da 3D-CRT, foram contabilizados:

- (1) Custos inerentes à diferença da carga de trabalho dos RH intervenientes;
- (2) Custos prevenidos com a diminuição da toxicidade para o carcinoma da próstata e da mama.

A1.1 Custos associados à diferença de carga de trabalho dos RH intervenientes

Após contabilizar o número de FTEs alocados para cada etapa do *workflow*, por técnicas de 3D-CRT e IMRT (representados nas Figura 5.5, Figura 5.7 e Figura 5.9, para a C&P, próstata e mama, respectivamente) chegou-se ao número de FTEs necessários para cada tratamento global de 3D-CRT e IMRT, assim como às diferenças entre ambas (representados nas Figura 5.6, Figura 5.8 e Figura 5.10, para a C&P, próstata e mama, respectivamente).

Visto que se possui o valor dos FTEs em pessoa-dia (1FTE=8horas de trabalho), calculou-se o preço por 8 horas de trabalho, por tipologia de RH. Desta forma começou-se por calcular o valor monetário por cada hora de trabalho, a partir da grelha salarial mensal, correspondente a um regime horário completo (40 horas/semana), considerando que um mês de trabalho corresponde a 173.33 horas (ver Tabela 4.1). O preço por cada dia de trabalho encontra-se na Tabela A10.1 e o custo associado à diferença de FTEs por cada tratamento encontra-se na Tabela A10.2.

Tabela A10.1 Tabela salarial em regime de horário completo (40 horas/semana).

Tipologia de RH	Salário mensal	Preço/hora	Preço/dia
Enfermeiro	1 200 €	6,9 €	55,4 €
Técnico	1 165 €	6,7 €	53,8 €
Físico Médico	1 750 €	10,1 €	80,8 €
Médico especialista	3 378 €	19,5 €	155,9 €

Tabela A10.2 Custo associado à diferença de FTEs por cada tratamento.

Tipologia de RH	FTEs totais do workflow 3D- CRT	FTEs totais do workflow IMRT	Δ FTEs (IMRT- CRT)	Custo associado
Neoplasia de Cabeça e Pescoço				
Enfermeiro	0.71	0.71	0	0 €
Técnico de Radioterapia	1.51	2.16	0.65	35 €
Dosimetrista	0.03	0.06	0.03	2 €
Físico Médico	1.08	2.69	1.6	130 €
Médico Radioterapeuta	0.96	1.10	0.15	23 €
<i>Total:</i>				189 €
Neoplasia da Próstata				
Enfermeiro	0.04	0.04	0	0 €
Técnico de Radioterapia	1.61	4.04	2.43	131 €
Dosimetrista	0.24	0.11	-0.13	-7 €
Físico Médico	0.05	1.41	1.36	110 €
Médico Radioterapeuta	2.56	2.65	0.09	14 €
<i>Total:</i>				248 €
Neoplasia da Mama				
Enfermeiro	0.56	0.56	0	0 €
Técnico de Radioterapia	1.82	2.80	0.98	53 €
Dosimetrista	0.48	0.17	-0.29	-16 €
Físico Médico	0.05	2.20	2.15	174 €
Médico Radioterapeuta	4.11	4.07	-0.04	-6 €
<i>Total</i>				204 €

A10.2 Custos prevenidos com a diminuição da toxicidade para a neoplasia da próstata e da mama

Os custos associados à diminuição da toxicidade foram estimados a partir de taxas de toxicidade obtidas num levantamento bibliográfico. A partir da diferença entre as respectivas taxas, calculou-se o número de doentes que é necessário tratar com IMRT, para prevenir um caso de toxicidade (NDT), com recurso à equação 4.1 (que se encontra a secção 4.2.3), os resultados encontram-se na Tabela A10.3.

Tabela A10.3 NDT de acordo com as taxas de toxicidade para a neoplasia da próstata e da mama.

Taxa de toxicidade	3D-CRT	IMRT	NDT
Neoplasia da Próstata			
Taxa de toxicidade rectal tardia [89]	0.14	0.04	10
Neoplasia da Mama			
<i>Efeitos agudos (Grau\geq2) [88]:</i>			
Dermatite	0.85	0.41	3
Edema	0.28	0.01	4
Hiperpigmentação	0.5	0.05	3
<i>Efeitos tardios (Grau\geq2) [88]:</i>			
Edema	0.25	0.01	5

Na Tabela A10.4 encontram-se o número de doentes que é necessário tratar com IMRT, para prevenir um caso de toxicidade, que tem um respectivo custo associado por tratamento. O custo de um tratamento de toxicidade rectal tardia foi estimado em \$2 346 (equivalente a 1 688 €), considerando que a mediana da terapêutica teve a duração de um ano [89]. O custo estimado para um tratamento da toxicidade aguda e tardia da neoplasia da mama foi estimado no Anexo 6. Considerou-se, também, que uma mulher pode manifestar mais do que um efeito adverso em simultâneo, portanto para a neoplasia da mama, assumindo-se um NDT mediano igual 4, com um custo de 1 265 €.

Tabela A10.4 NDT e custo de cada caso de toxicidade considerados no modelo económico.

Taxa de toxicidade	NDT	Custo de cada caso de toxicidade
Neoplasia da Próstata		
Taxa de toxicidade rectal tardia [89]	10	1 688 €
Neoplasia da Mama		
<i>Efeitos agudos (Grau\geq2) [88]:</i>		
Dermatite	3	965.25 €
Edema	4	3.58 €
Hiperpigmentação	3	288.60 €
<i>Efeitos tardios (Grau\geq2) [88]:</i>		
Edema	5	7.16 €

Desta forma, tendo em conta o custo dos RH associado à diferença de FTEs por cada tratamento (Tabela A10.2) e o custo prevenido pela diminuição da taxa de toxicidade, a realização da IMRT, pode implicar um aumento de 79.2 €/tratamento à neoplasia da próstata e uma diminuição de 112.25 €/tratamento à neoplasia da mama, comparativamente com a técnica conformacional. Na Tabela A10.5 encontra-se resumidamente o modelo económico.

Tabela A10.5 Modelo Económico.

Neoplasia	NDT	Custo de cada caso de toxicidade	Custo dos RH/ NDT tratamentos	Total
Próstata	10	1 688 €	2 480 €	- 792 € / 10 tratamentos
Mama	4	1 265 €	816 €	+ 449 € / 4 tratamentos